



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 141584

ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN TEMPERATUR PADA PROSES Pengerasan BAJA AISI 1035 TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK APLIKASI *HAMMER CRUSHER*

MUHAMMAD RIFKI LUFTHANSA
02511440000128

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto W, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN TEMPERATUR PADA PROSES Pengerasan BAJA AISI 1035 TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK APLIKASI HAMMER CRUSHER

MUHAMMAD RIFKI LUFTHANSA
02511440000128

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto W, S.T, M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATIONS IN
THE COOLING MEDIA AND TEMPERATUR IN
HARDENING PROCESS OF AISI 1035 STEEL
ON HARDNESS PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE FOR HAMMER CRUSHER
APPLICATION**

MUHAMMAD RIFKI LUFTHANSA
02511440000128

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto W, S.T, M.T.

**MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT**
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

(This Page is Left Intentionally Blank)

**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN DAN
TEMPERATUR PADA PROSES PENGERASAN BAJA
AISI 1035 TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO UNTUK APLIKASI *HAMMER
CRUSHER***

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

MUHAMMAD RIFKI LUFTHANSA
02511440000128

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono., S.T, M.T (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analisis Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur pada
Proses Pengerasan Baja AISI 1035 terhadap Sifat Kekerasan
dan Struktur Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher***

Nama Mahasiswa : Muhammad Rifki Lufthansa
NRP : 02511440000128
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Pembimbing : Alvian Toto W, S.T., M.T.

Abstrak

Hammer crusher digunakan untuk menghancurkan *raw material* berupa *limestone* yang diambil dari tempat penambangan. *Hammer crusher* sering mengalami keausan akibat bergesekan dengan *limestone*. Material yang digunakan tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan, dari uji komposisi kimia terhadap *hammer crusher* didapatkan komposisinya setara dengan AISI 1035. Proses perlakuan panas terhadap *hammer crusher* dilakukan untuk meningkatkan kekerasannya dan struktur mikro supaya sesuai dengan standar yang dipersyaratkan dengan memvariasikan media pendingin dan temperature pada proses pengerasan. Dilakukan proses *hardening* pada temperatur 850°C dan 900°C dengan waktu tahan 30 menit, yang kemudian di quench dengan media pendingin air, oli, dan *brine* untuk meningkatkan kekerasannya. Kemudian, komponen di uji *OES*, *hardness*, struktur mikro dan kemudian kemudian di uji ketahanan aus. Didapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu spesimen dengan temperatur *hardening* 900°C dengan media pendingin *brine* sebesar 679.4 HV dengan laju keausan 1,3 mm / jam. Nilai kekerasan yang meningkat sebanding dengan ketahanan aus yang meningkat dari material *hammer crusher*. Kekuatan media pendingin dan temperature yang lebih tinggi menyebabkan kekerasan yang didapatkan lebih tinggi.

Kata kunci : *Hammer crusher, AISI 1035, Limestone, Raw Material*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analysis The Effect Of Variations The Cooling Media and Temperature Hardening Process of AISI 1035 Steel on Hardness Properties and Microstructure for Hammer Crusher Application

Name : Muhammad Rifki Lufthansa
SRN : 02511440000128
Major : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Advisor : Alvian Toto W, S.T., M.T

Abstract

Hammer crusher is used to destroy raw material in the form of limestone taken from the mine. Hammer crusher often experience wear and tear due to rubbing with limestone. The material used is not in accordance with the specified standard, from the chemical composition test to the hammer crusher, the composition is comparable to AISI 1035. The heat treatment process of hammer crusher is done to increase its hardness and microstructure to comply with the required standard by varying the cooling medium and temperature at hardening process. Conducted hardening process at 850°C and 900°C with 30 minutes, which then quench with water coolant, oil, and brine to increase the hardness. Then, the components in the OES test, hardness, microstructure and then later in the wear resistance test. The highest value of hardness is specimen with hardening temperature 900°C with brine cooling medium equal to 679.4 HV with wear rate 1,3 mm / hour. The increased hardness value is proportional to the increased wear resistance of the hammer crusher material. Higher media and cooling temperatures cause higher hardness.

Keywords: Hammer crusher, AISI 1035, Limestone, Raw Material

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur pada Proses Pengerasan Baja AISI 1035 terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher*”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendukung secara moril maupun materiil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan dan keselamatan anaknya.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Alvian Toto Wibisono, S.T, M.T selaku co dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.

7. Bapak Anggoro selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Keluarga MT 16 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama perkuliahan.
9. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 21 Desember 2017

Penulis,
Muhammad Rifki Lufthansa

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL..... | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Impact Crusher | 5 |
| 2.2 Pengertian Hammer Crusher | 6 |
| 2.3 ASTM A532 | 7 |
| 2.4 Material Hammer Crusher yang Mengalami Kegagalan ... | 9 |
| 2.5 Diagram Fase Fe-Fe ₃ C | 10 |
| 2.6 Baja Paduan | 12 |
| 2.6.1 <i>Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)</i> | 13 |
| 2.6.2 Baja Karbon Menengah | 13 |
| 2.7 Analisis Kegagalan | 13 |
| 2.8 Definisi Keausan..... | 16 |
| 2.9 Heat Treatment | 19 |
| 2.9.1 Hardening | 19 |
| 2.9.2 Austenitisasi | 20 |
| 2.9.3 Quenching..... | 22 |
| 2.10 Hardenabiliti | 26 |
| 2.11 Pengujian Komposisi | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.12 Pengujian Kekerasan..... | 29 |
| 2.13 Pengujian Ketahanan Aus | 30 |
| 2.14 Penelitian Sebelumnya..... | |
| 2.14.1 Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik <i>Friction</i> <i>Wedge</i> AISI 1340 | 31 |
| 2.14.2 Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Sifat Kekerasan Baja Paduan Rendah untuk Bahan Pisau Penyayat Batang Karet..... | 33 |
| 2.14.3 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses Hardening pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada Hammer Crusher | 35 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram Alir..... | 39 |
| 3.2 Metode Penelitian | 40 |
| 3.3 Material yang Digunakan..... | 41 |
| 3.4 Peralatan | 42 |
| 3.5 Tahapan Penelitian..... | 45 |
| 3.5.1 Review Dokumen Perusahaan | 45 |
| 3.5.2 Preparasi Spesimen | 45 |
| 3.5.3 Uji komposisi..... | 46 |
| 3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik..... | 46 |
| 3.5.5 Uji Kekerasan | 46 |
| 3.5.6 Uji Keausan | 47 |
| 3.5.7 Perlakuan Panas | 47 |
| 3.6 Rancangan Penelitian..... | 48 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Hasil percobaan | 49 |
| 4.1.1 Data Operasi Material <i>Hammer Crusher</i> | 49 |
| 4.1.2 Hasil Pengamatan Makrostruktur <i>Hammer Crusher</i> | 53 |
| 4.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro pada Hammer Crusher | 54 |

| | |
|---|----|
| 4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers pada Hammer Crusher | 58 |
| 4.1.5 Hasil Proses <i>Hardening</i> pada Material Baja AISI 1035 | 60 |
| 4.2 Pembahasan | 62 |

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 67 |
| 5.2 Saran | 67 |

DAFTAR PUSTAKAxxi

LAMPIRAN.....xxv

BIODATA PENULISxxxi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Impact Crusher | 6 |
| Gambar 2.2 Hammer crusher | 7 |
| Gambar 2.3 Diagram fase Fe - Fe ₃ C | 11 |
| Gambar 2.4 Struktur mikro baja hypoeutektoid | 12 |
| Gambar 2.5 Mekanisme abrassive wear..... | 17 |
| Gambar 2.6 Mekanisme <i>Adhesive Wear</i> | 18 |
| Gambar 2.7 Flow wear oleh penumpukan aliran..... | 18 |
| Gambar 2.8 <i>Fatigue Wear</i> | 19 |
| Gambar 2.9 Diagram TTT untuk baja <i>hypoeutectoid</i> | 20 |
| Gambar 2.10 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas..... | 21 |
| Gambar 2.11 Tiga tahapan pada quenching | 23 |
| Gambar 2.12 Mekanisme Terbentuknya bainit | 25 |
| Gambar 2.13 Martensit dari baja 0.35 %C..... | 26 |
| Gambar 2.14 Hubungan antara kadar karbon dan kekerasan ... | 27 |
| Gambar 2.15 Skema pengujian ketahanan aus | 30 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... | 40 |
| Gambar 3.2 Hammer crusher | 41 |
| Gambar 3.3 Mesin wire cut..... | 42 |
| Gambar 3.4 Mesin OES | 43 |
| Gambar 3.5 <i>Electric Heating Furnace</i> | 43 |
| Gambar 3.6 Mesin Polish..... | 44 |
| Gambar 3.7 Mikroskop Optik | 44 |
| Gambar 3.8 Mesin Uji Ketahanan Aus | 45 |
| Gambar 3.9 Universal Hardness Tester..... | 47 |
| Gambar 3.10 Proses Perlakuan Panas | 48 |
| Gambar 4.1 Desain Hammer Crusher | 49 |
| Gambar 4.2 Komponen Hammer Crusher..... | 53 |
| Gambar 4.3 Struktur Mikro Baja AISI 1035 | 54 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Gambar 4.4 | Struktur Mikro (A) AISI 1035 850°C – OQ (B) AISI 1035 850°C – WQ (C) AISI 1035 850°C – BQ dengan etsa Nital 74a. Perbesaran 1000x | 56 |
| Gambar 4.5 | Struktur Mikro (D) AISI 1035 900°C – OQ (E) AISI 1035 900°C – WQ (F) AISI 1035 900°C – BQ dengan etsa Nital 74a. Perbesaran 1000x | 57 |
| Gambar 4.6 | Pembagian daerah indentasi uji kekerasan | 59 |
| Gambar 4.7 | Grafik Kekerasan pada Baja AISI 1035 | 60 |
| Gambar 4.8 | Grafik laju pengausan Material AISI 1035..... | 62 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Komposisi kimia pada ASTM A532 | 8 |
| Tabel 2.2 Kekerasan pada ASTM A532 | 8 |
| Tabel 2.3 Komposisi Baja AISI 1035 | 9 |
| Tabel 2.4 Karakteristik pada Baja AISI 1035 | 9 |
| Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin..... | 14 |
| Tabel 2.6 Kegagalan material akibat perawatan komponen | 15 |
| Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin | 16 |
| Tabel 2.8 <i>Grossman qench severity factor</i> | 24 |
| Tabel 3.1 Komposisi Kimia Hammer Crusher di Mesin Impact Crusher | 42 |
| Tabel 3.2 Rancangan Penelitian..... | 48 |
| Tabel 4.1 Data operasi <i>Hammer Crusher</i> | 50 |
| Tabel 4.2 Kode spesimen dan jenis hardening | 51 |
| Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan spesimen uji..... | 60 |
| Tabel 4.4 Rata-rata hasil pengujian ketahanan aus pada material <i>hammer crusher</i> | 61 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2014, kapasitas produksi di PT Semen Indonesia meningkat menjadi sebesar 31,8 juta ton per tahun dan itu mampu menguasai sekitar 42% pasar domestik. PT. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Proses pembuatan semen PT. Semen Indonesia unit Tuban I secara garis besar melalui proses dengan dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen (*packing*). Proses pembuatan terak (*clinker*) meliputi pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*Cooling*). Proses penggilingan meliputi pencampuran dengan aditif, penggerusan dan pembentukan *powder*. Proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpan ke dalam gudang. (Ibrahim, 2004).

Impact Crusher merupakan salah satu peralatan yang memiliki fungsi penting di industri semen. Alat ini berfungsi sebagai pemecah atau untuk mereduksi ukuran batu kapur (*limestone*) yang baru diambil dari tempat penambangan. Maka dari itu, material yang digunakan untuk *Hammer Crusher* harus memiliki kekerasan dan ketangguhan yang tinggi karena akan memperkecil ukuran batu kapur atau *limestone* yang sangat besar ukurannya dan juga tingkat kekerasan batu sekitar 2,7 – 3,4 skala mohs. Namun pada tanggal 13 juni 2016 pada saat inspeksi di *hammer crusher limestone/ impact crusher* ditemukan keausan yang tidak biasanya. Kerusakan *hammer crusher* mengakibatkan *limestone* mengalami penambahan ukuran sehingga *hammer crusher* tersebut diganti dengan *part* yang baru. *Hammer crusher* pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk mengalami keausan yang seharusnya



umur pakainya selama 1 tahun hanya bertahan selama 3 bulan. Dari kasus tersebut dilakukan analisis kegagalan pada *hammer crusher* untuk *limestone* dengan menguji komposisi dari *hammer crusher* tersebut. Setelah dilakukan terdapat perbedaan komposisi yang tidak sesuai dengan standar *Impact crusher*. Selain menguji komposisi, uji kekerasan dilakukan dan memberikan hasil yang jauh dari kekerasan standarnya. PT Semen Indonesia membutuhkan biaya yang tidak sedikit untuk mengganti *hammer crusher limestone* yang gagal tersebut dan dapat mengganggu/menghambat proses produksi semen di PT Semen Indonesia unit Tuban. Oleh karena itu perlunya dilakukan penelitian ini dengan memberikan perlakuan panas pada material *hammer crusher* supaya dapat meningkatkan sifat kekerasan sehingga sesuai standar yang dipersyaratkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan strukturmikro pada baja AISI 1035 sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan strukturmikro pada baja AISI 1035 sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher* ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan rotasi (rpm) pada *hammer crusher* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *hammer crusher* memenuhi standar operasional.

BAB I PENDAHULUAN



3. Pengaruh lingkungan diabaikan.
4. Material dianggap homogen di semua sisi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan strukturmikro pada baja AISI 1035 sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher*.
2. Menganalisis pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan strukturmikro pada baja AISI 1035 sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bila terjadi kegagalan pada *hammer crusher* dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

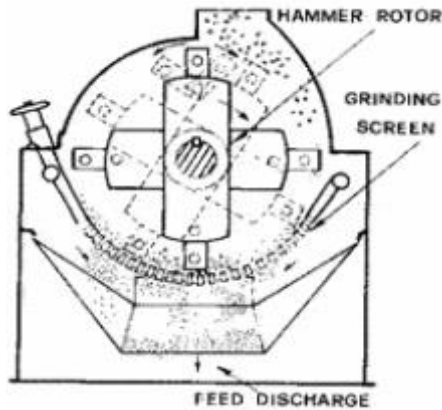
BAB I PENDAHULUAN



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Impact Crusher

Crusher merupakan alat yang sangat penting digunakan pada industri mineral maupun mekanik. *Impact crusher* pada gambar 2.1 merupakan *crusher* yang termasuk kategori crusher primer yaitu crusher yang digunakan untuk mereduksi ukuran pada material yang ukurannya cukup besar. Cara kerja alat ini yaitu batu/material yang masuk ke dalam *impact crusher* akan di pukul menggunakan hammer dengan prinsip tekanan dan mengakibatkan terjadinya gesekan antara material dengan *hammer*. *Hammer* berputar dan terpasang pada rotor sehingga menyebabkan dia berputar secara vertikal. *Crusher* jenis ini mereduksi ukuran dengan rasio sekitar 10:1. Di sini material dihancurkan oleh crusher yang berasal dari gerakan rotasi cepat hammer yang dipasang pada rotor. Partikel kemudian dilumatkan ke dalam crusher saat mereka bertabrakan melawan bagian *crusher* dan melawan satu sama lain, menghasilkan produk yang lebih halus dan berbentuk lebih baik. Mengatur jarak antara rangka benturan dan bingkai rotor bisa mengubah bentuk dan ukuran outputnya. Dalam impact crusher, kerusakan terjadi dalam rentang waktu yang lebih rendah dibandingkan dengan penghancur kerucut atau rahang. Jadi disini sifat dan besarnya kekuatan serta energi yang hilang karena kerusakan akibat benturan berbeda dengan yang terjadi pada *jaw crusher*. (Deepak, 2008)



Gambar 2.1 Impact Crusher

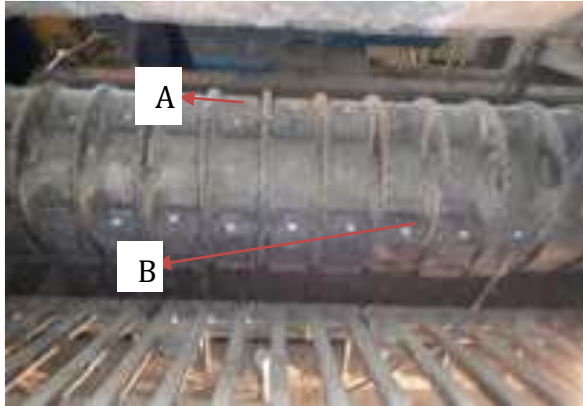
2.2 Pengertian Hammer Crusher

Hammer crusher adalah sebuah alat penggiling yang mempunyai *rotor* yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berbentuk palu dimana palu-palu tersebut digantung pada suatu rotor/piringan/silinder yang dapat berputar dengan cepat. Gambar 2.2 menunjukkan komponen *hammer crusher*, (a) rotor yang berfungsi menggerakkan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer diec* yang berfungsi sebagai pemisah antara *hammer* satu dengan yang lainnya. Alat ini juga dilengkapi dengan kisi-kisi/ ayakan yang juga berfungsi sebagai penutup lubang tempat keluarnya produk. Mekanisme kerja dari *hammer crusher* yaitu, *hammer crusher* bergerak pada kecepatan tertentu kemudian menghancurkan *limestone* yang di transportasikan oleh *dump truck* dari area penambangan menuju *hammer mill* kemudian *limestone* akan di hancurkan, disini akan terjadi kontak antara ujung dari *hammer crusher* dengan *limestone*. Oleh karena itu jika hal ini terus menerus terjadi maka akan terjadi keausan pada komponen *hammer crusher*. Pemeriksaan dan perawatan baling-baling *hammer*/palu sangat penting karena berhubungan dengan mengubah baling-baling yang mempercepat tingkat putaran dan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



bergantung pada keraslunaknya obyek yang akan di giling. (Edahwati, 2009).



Gambar 2. 2 *Hammer Crusher* (FLSmidth, 2016)

2.3 ASTM A532

Material *hammer crusher* yang seharusnya dan sesuai dengan standar yang digunakan adalah besi tuang putih (*white cast iron*) yang sesuai dengan ASTM A532 kelas II tipe A. Besi cor putih cocok sebagai aplikasi *grinding, milling, earth-handling*, dan *manufacturing industries*. Fasa yang terbentuk pada besi cor putih diantaranya perlit, ledeburit dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi cor putih pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut:



Tabel 2. 1 Komposisi Kimia pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

| Nama | C (%) | Mn (%) | Si(%) | Ni(%) | Cr(%) | Mo (%) | S (%) | P(%) |
|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| I A | 2.8 - 3.6 | 2 | 0.8 | 3.3 - 5.0 | 1.4 - 4.0 | 1.0 | 0.15 | 0.3 |
| I B | 2.4 - 3.0 | 2 | 0.8 | 3.3 - 5.0 | 1.4 - 4.0 | 1.0 | 0.15 | 0.3 |
| I C | 2.5 - 3.7 | 2 | 0.8 | 4.0 | 1.0 - 2.5 | 1.0 | 0.15 | 0.3 |
| I D | 2.0 - 3.3 | 2 | 2 | 4.5-7.0 | 7.0 - 11.0 | 1.5 | 0.15 | 0.1 |
| II A | 2.0 - 3.3 | 2 | 1.5 | 2.5 | 11.0 - 14.0 | 3.0 | 0.06 | 0.1 |
| II B | 2.0 - 3.3 | 2 | 1.5 | 2.5 | 14.0 - 18.0 | 3.0 | 0.06 | 0.1 |
| II D | 2.0 - 3.3 | 2 | 1.0-2.2 | 2.5 | 18.0 - 23.0 | 3.0 | 0.06 | 0.1 |
| III A | 2.0 - 3.3 | 2 | 1.5 | 2.5 | 23.0 - 30.0 | 3.0 | 0.06 | 0.1 |

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga berbagai macam, salah satunya adalah kekerasan pada tiap kelas dan tipe material yang berbeda – beda. Tabel 2.2 menunjukkan macam – macam nilai kekerasan pada ASTM A532. (ASTM A532, 1999)

Tabel 2.2 Kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

| Class | Type | Designation | As cat or as Cast and Stress Relieved | | |
|--------------|-------------|--------------------|--|------------|------------|
| | | | HB | HRC | HVN |
| I | A | Ni-Cr-HiC | 550 | 53 | 600 |
| I | B | Ni-Cr-LoC | 550 | 53 | 600 |
| I | C | Ni-Cr-GB | 550 | 53 | 600 |
| I | D | Ni-HiCr | 500 | 50 | 540 |
| II | A | 12% Cr | 550 | 53 | 600 |
| II | B | 15% Cr-Mo | 450 | 46 | 485 |
| II | D | 20% Cr-Mo | 450 | 46 | 485 |
| III | A | 25% Cr | 450 | 46 | 485 |



2.4 Material *Hammer Crusher* yang Mengalami Kegagalan 5(AISI 1035)

Dari uji komposisi kimia terhadap material yang digunakan pada *hammer crusher* tersebut adalah baja AISI 1035 yang merupakan baja paduan rendah dan tidak sesuai dengan standar yang pada ASTM A532. Pada Tabel 2.3 dibawah ini, menunjukkan komposisi kimia pada baja AISI 1035 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 1035(AZO, 2000)

| Unsur | Percent (%) |
|-------|-------------|
| C | 0.32 – 0.38 |
| Mn | 0.6 – 0.9 |
| P | Max 0.04 |
| S | Max 0.050 |

Baja AISI 1035 juga memiliki sifat mekanik dan sifat fisik seperti baja – baja yang lainnya, pada Tabel 2.4 menunjukkan data karakteristik mekanik dan fisik serta perlakuan panas yang cocok untuk baja AISI 1035 yaitu :

Tabel 2. 4 Karakteristik mekanik dan fisik pada Baja AISI 1035

Mechanical Properties

| Quantity | Value | Unit |
|------------------|-----------------|------|
| Young's modulus | 200000 - 200000 | MPa |
| Tensile strength | 650 - 880 | MPa |
| Elongation | 8 - 25 | % |
| Fatigue | 275 - 275 | MPa |
| Yield strength | 350 - 550 | MPa |

Physical Properties

| Quantity | Value | Unit |
|----------------------|-------------|------------------------|
| Thermal expansion | 10 - 10 | e-6/K |
| Thermal conductivity | 25 - 25 | W/m.K |
| Specific heat | 460 - 460 | J/kg.K |
| Melting temperature | 1450 - 1510 | °C |
| Density | 7700 - 7700 | kg/m ³ |
| Resistivity | 0.55 - 0.55 | Ohm.mm ² /m |

Heat Treatment:

| Annealing | Quenching | Tempering | Normalizing | Q & T |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------|
| √ | √ | √ | √ | √ |



Pada baja jenis AISI 1035 ini jika diberikan perlakuan panas *hardening* pada temperatur 829°C sampai 899°C kekerasan pada baja AISI 1035 tersebut dapat dinaikkan. Perlakuan Normalizing juga dapat dilakukan dengan pemanasan antara 821°C to 899 °C. biasanya jenis baja ini digunakan untuk *gear*, *pin*, *shaft*, dan juga *couplings*. (Chandler, 1995)

2.5 Diagram Fase Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe - Fe₃C.

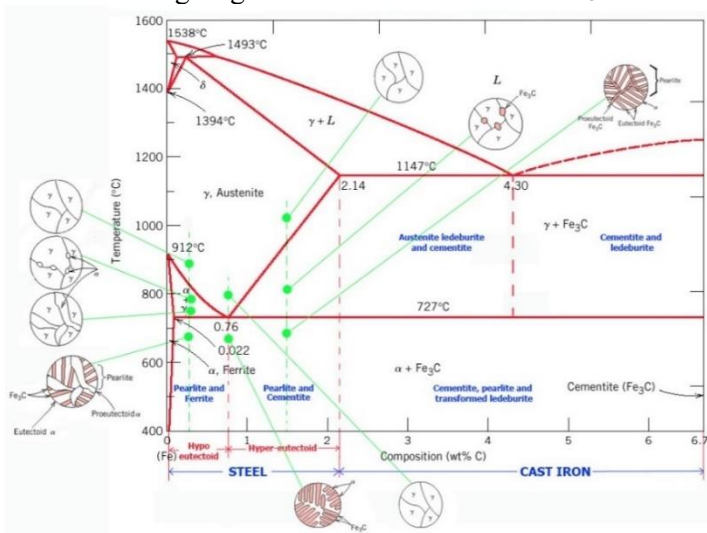
Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3. Dari Gambar 2.3 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

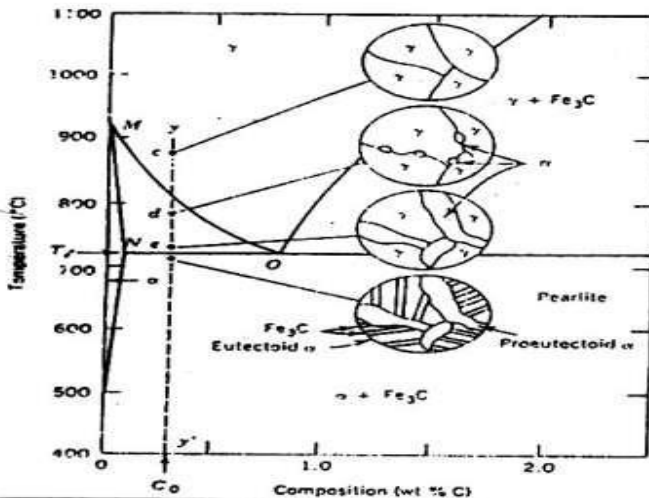


- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi eutectoid. $\Gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2.3 Diagram fase Fe - Fe₃C (Avner, 1994)

Material *hammer crusher* yang mengalami keausan merupakan baja *hypoeutectoid* karena kadar karbon yang terdapat pada material tersebut adalah 0,3% C sehingga fasa yang terbentuk pada temperatur kamar berupa ferrit dan perlit. Gambar 2.4 menunjukkan perubahan fasa yang terjadi saat memanaskan baja *hypoeutectoid* sampai diatas temperatur austenit dengan menggunakan pendingan yang sangat lambat.



Gambar 2. 4 Plot struktur mikro pada baja hypoeutectoid yang didinginkan secara lambat (Avner, 1994)

2.6 Baja Paduan

Baja adalah paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung unsur paduan lainnya yang dapat meningkatkan sifat dari keberadaan unsur seperti Mn dan Si atau yang lainnya. Baja paduan mengandung unsur Mn, Si, atau Cu dengan jumlah unsur maksimum sebesar (e.g., 1.65% Mn, 0.60% Si, and 0.60% Cu). Unsur paduan juga dapat meningkatkan sifat mekanik dan fabrikasi (Totten, 1997).

Selain itu juga dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan unsur paduannya. Baja karbon biasa (plain carbon steel) yang hanya berisi konsentrasi karbon dan baja selain itu memiliki sedikit pengotor dan sedikit paduan manganese. Untuk baja paduan, unsur paduan ditambahkan untuk tujuan tertentu dengan konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)



2.6.1 Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)

Biasanya baja ini mengandung paling sedikit 0.3% C, yang berarti mudah untuk dikeraskan karena adanya unsur-unsur Ni, Cr, Mn, Mo, berarti baja ini mempunyai sifat *hardenability* yang baik bila mana baja ini diannealing dan di tempering sampai kekuatan tertentu atau apabila seluruh stuktur martensite, maka baja ini mempunyai gejala yang menunjukkan sifat mekanis yang sama dengan baka karbon biasa yang mengandung unsur C yang sama. Dalam ukuran-ukuran baja yang besar, baja karbon tidak dapat dikeraskan secara sempurna, sehingga unsur-unsur paduan diperlukan untuk sifat –sifat pengerasan yang lebih baik, maka untuk baja dengan ukuran-ukuran besar. Alloy steel cocok untuk memperoleh kekuatan maksimum dengan proses *heat treatment*. (Callister, 2013)

2.6.2 Baja Karbon Menengah

Baja karbon sedang memiliki konsentrasi karbon sekitar 0.35 – 0.6 wt%. paduan ini dapat dipanaskan dengan cara austenisasi, pendinginan dan kemudian di temper untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon sedang. Baja karbon menengah paling sering digunakan dalam keadaan temper, memiliki struktur mikro martensit temper. Baja menengah biasa memiliki *hardenability* rendah dan dengan pendinginan yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel, dan *molybdenum* meningkatkan kapasitas paduan ini menjadi *heat treated* sehingga dapat memiliki kombinasi antara keuletan dengan kekuatan. Paduan yang di panaskan ini lebih kuat daripada baja karbon rendah, tetapi mengurangi keulaetan dan ketangguhan. Aplikasi dari baja menengah biasanya digunakan untuk rel kereta api, poros dan roda gigi serta bagian mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan. (Callister, 2007)

2.7 Analisis Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau



struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Tabel 2. 5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks 2002)

| Permasalahan | % |
|--|----|
| Kesalahan pemilihan material | 38 |
| Cacat produksi | 15 |
| Kesalahan perlakuan panas | 15 |
| Kesalahan desain mekanik | 11 |
| Kondisi operasi yang berlebihan | 8 |
| Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol | 6 |
| Pemeriksaan yang kurang baik | 5 |
| Material yang tidak jelas | 2 |

2. Perawatan komponen yang kurang baik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.6 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2. 6 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks 2002)

| Permasalahan | % |
|----------------------------|----------|
| Perawatan yang kurang baik | 44 |
| Cacat saat fabrikasi | 17 |
| Defisiensi desain | 16 |
| Pemakaian yang abnormal | 10 |
| Cacat material | 7 |
| Penyebab yang tidak jelas | 6 |

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.7.



Tabel 2. 7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks 2002)

| Penyebab Kegagalan | % |
|---|----------|
| Korosi | 29 |
| Kelelahan (<i>fatigue</i>) | 25 |
| Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>) | 16 |
| Kelebihan beban | 11 |
| Korosi temperature tinggi | 7 |
| Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen | 6 |
| Pemuluran (<i>creep</i>) | 3 |
| Abrasi, Erosi | 3 |

2.8 Definisi Keausan

Definisi paling umum dari keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. (Almen J.O, 1950). Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya (Yuwono, 2008). Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan).

Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989).

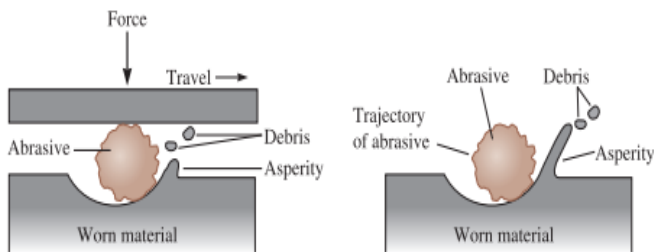
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1. Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical*)

Digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow* and *fatigue wear*.

a. *Abrasive wear*.

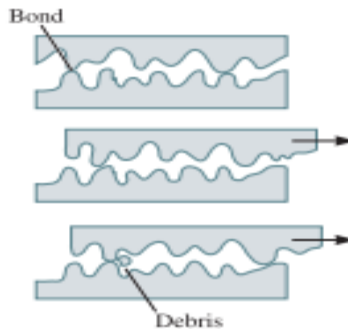
Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*) (Zum Gahr, 1987) (Hokkirigawa and Kato K, 1989). Contoh : Proses permesinan seperti *cutting*



Gambar 2.5 Mekanisme abrasive wear (Askeland, 2010)

b. *Adhesive wear*.

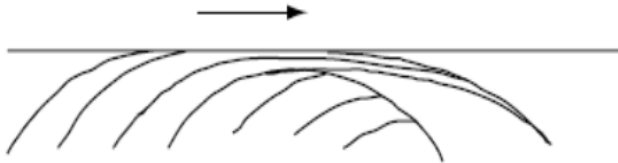
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras.



Gambar 2.6 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Askeland, 2010)

c. *Flow wear*.

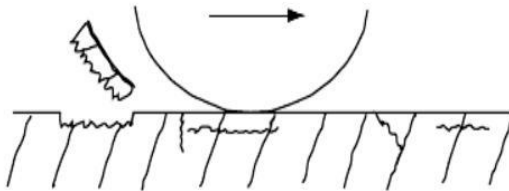
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain.



Gambar 2.7 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

d. *Fatigue wear*.

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri-ciri nya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya.



Gambar 2.8 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2005)

2.9 Heat Treatment

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu dan temperatur tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu.(Avner 1997). Secara umum *heat treatment* dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

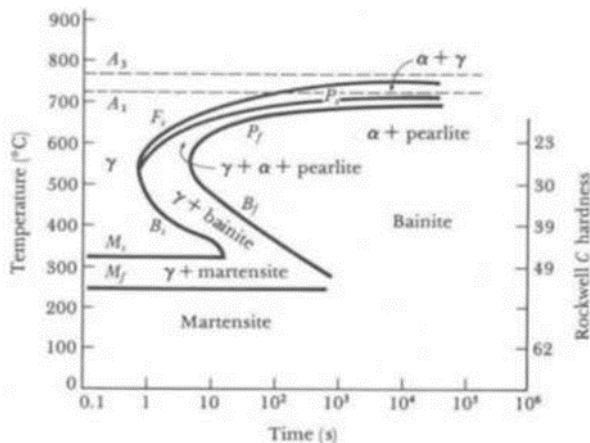
1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses heat treatment dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses heat treatment dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Rina Dwi Yani 2008).

2.9.1 Hardening

Hardening adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis (daerah austenit), ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur austenit dan kemudian didinginkan dengan cepat pada media pendingin. Tujuan proses ini adalah untuk



mendapatkan struktur kristal martensit. Martensit adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal. Prosedur untuk quenching dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 9 Diagram TTT untuk baja *hypoeutectoid* (Campbell, 2008)

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser hidung diagram TTT ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan. Unsur paduan tidak meningkatkan kekerasan martensit secara signifikan, tetapi hardenability, kedalaman dari permukaan struktur mikro martensit dapat dihasilkan pada baja (Campbell 2008).

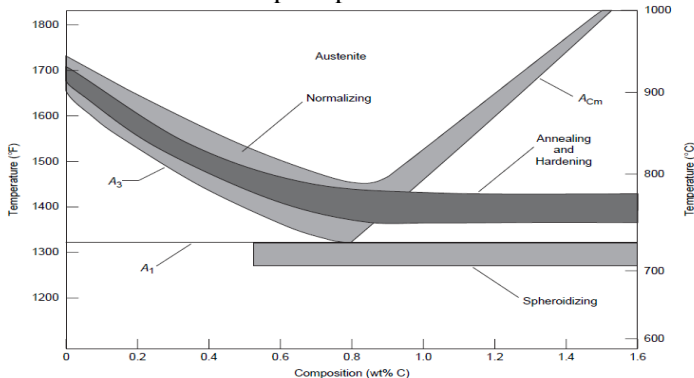
2.9.2 Austenitisasi

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur austenisasi berkurang sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis A_{cm} . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (ferit+ Fe_3C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir.

Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja hipereutektoid cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja (Campbell 2008).



2.9.3 Quenching (Pendinginan)

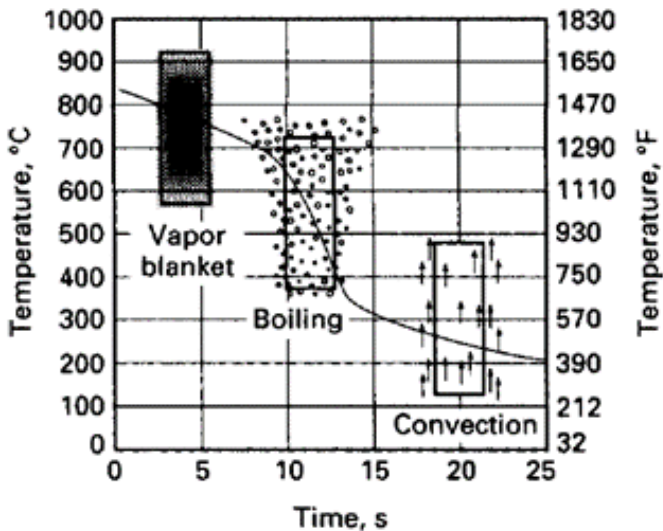
Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit.

Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak.

Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media liquid, seperti pada Gambar 2.11, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling*, dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2.11 Tiga tahapan pada quenching (ASM Handbook, Vol 04, Heat Treatment, 1998)

Jika suatu benda kerja diquench ke dalam medium quenching, lapisan cairan disekeliling benda kerja akan segera terpanasi sehingga mencapai titik didihnya dan berubah menjadi uap. Pada tahap ini (tahap A) benda kerja akan segera dikelilingi oleh lapisan uap yang terbentuk dari cairan pendingin yang menyentuh permukaan benda kerja. Uap yang terbentuk menghalangi cairan pendingin menyentuh permukaan benda kerja. Sebelum terbentuk lapisan uap, permukaan benda kerja mengalami pendinginan yang sangat intensif. Dengan adanya lapisan uap, akan menurunkan laju pendinginan, karena lapisan terbentuk dan akan



berfungsi sebagai isolator. Kecepatan menghilangkan lapisan uap makin besar jika viskositas cairan makin rendah.

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang (Soedjono, 1978). Cairan garam merupakan larutan garam dan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Besarnya kenaikan titik didih larutan dalam. (Pramudya, 2010). Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburasi atau dekarburasi. Penggunaan media pendingin yang tepat juga ikut berpengaruh pada kecepatan pendinginan. Semakin tinggi kecepatan pendinginan maka akan semakin dalam juga efek dari pengerasan atau pembentukan martensit. Pengaruh media pendingin dapat diketahui dengan menggunakan *grossman quench severity factor*, H , pada table 2.8 di bawah. Semakin tinggi nilai H , maka semakin tinggi pula kecepatan pendinginan pada material. (ASM Vol 4).

Tabel 2.8 *Grossman quench severity factor* (ASM vol.4)

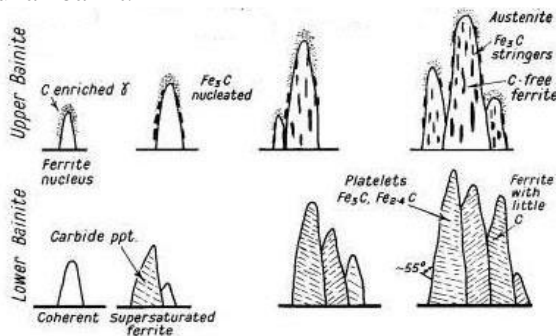
| Circulation or agitation | Grossmann quench severity factor, H | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| | Brine ^(a) | Water ^(a) | Oil ^(a) and salt | Air ^(b) |
| None | 2 | 0.9-1.0 | 0.25-0.30 | 0.02 |
| Mild | 2-2.2 | 1.0-1.1 | 0.30-0.35 | ... |
| Moderate | ... | 1.2-1.3 | 0.35-0.40 | ... |
| Good | ... | 1.4-1.5 | 0.4-0.5 | ... |
| Strong | ... | 1.6-2.0 | 0.5-0.8 | ... |
| Violent | 5 | 4 | 0.8-1.1 | ... |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



A. Mekanisme Terbentuknya Bainit

Pada temperatur di bawah hidung (550°C), suatu konstituen lain mulai terjadi yaitu bainit. Pada temperatur yang rendah ini austenit sudah berada jauh di bawah temperature stabilnya, ia akan mengalami driving force yang besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Karena driving force itu atom-atomnya akan tergeser untuk menjadi BCC, terbentuk ferit. Karena tadinya disitu terdapat banyak karbon sedang ferit tidak mampu melarutkan karbon maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida. Sementara itu austenit disekitar ferit tadi juga menjadi ferit, dan karbonnya berdiffusi keluar, sehingga akhirnya akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya, dinamakan bainit atas (upper bainite) atau feathery bainite. halus, berbentuk jarum-jarum (acicular), dan platelet sementit arahnya tidak lagi sejajar dengan sumbu tetapi membentuk sudut 55° . Dibawah mikroskop tampak mirip martensit. Struktur ini dinamakan bainit bawah (Lower bainite) atau acicular bainit. Gambar 2.12 merupakan mekanisme pembentukan bainit.



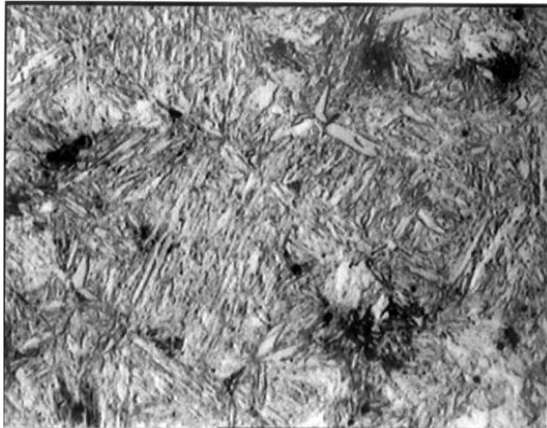
Gambar 2.12 Mekanisme terbentuknya Bainit

B. Mekanisme terbentuknya Martensit

Bila austenit didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum menjadi struktur lain maka pada saat itu



mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenit mengalami driving force yang sangat besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, yang menimbulkan shear force terhadap atom-atom. Ini menyebabkan atom-atomnya sedikit tergeser untuk menuju bentuk BCC, tetapi karena didalamnya masih terdapat banyak karbon (yang tadinya larut dalam austenit dan masih belum sempat keluar) dan karbon ini sudah tidak lagi dapat berdiffusi keluar (karena temperatur sudah terlalu rendah untuk dapat berdiffusi) maka struktur BCC tidak tercapai, salah satu rusuk sel satuannya lebih panjang daripada yang lain, ia menjadi BCT (Body Centered Tetragonal), martensit. Dibawah mikroskop martensit ini tampak berupa jarum-jarum (Gambar 2.13). Pada gambar tampak jarum-jarum martensit dan sisa austenit yang tidak bertransformasi (putih) sebagai latar belakang. Kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon, makin tinggi bila kadar karbon makin tinggi.



Gambar 2. 13 Martensit dari baja 0.35 %C diquench dari suhu 870 °C

2.10 Hardenabiliti

Suatu baja memiliki sifat yang dinamakan hardenability yaitu sifat suatu baja untuk mampu dikeraskan dengan membentuk martensit. Kekerasan tertinggi akan dicapai apabila struktur

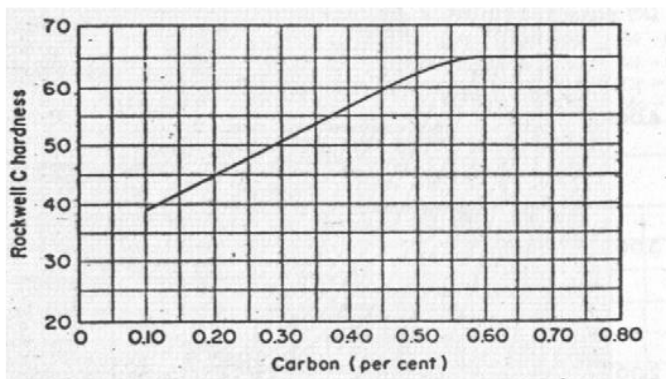
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



seluruhnya menjadi martensit. Kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dan jumlah martensit itu sendiri. Hardenabiliti yang menggambarkan mudah tidaknya suatu baja dikeraskan dapat ditunjukkan dengan:

1. Tebalnya bagian yang mengalami pengerasan (depth of hardening)
2. Ukuran benda yang dapat mengalami pengerasan sampai ke inti
3. Dapat mengalami pengerasan dengan pendinginan yang lambat

Hardenabiliti dapat dicari dengan melihat dari kurva jominy. Nilai kekerasan suatu baja dapat diprediksi dengan mengetahui jumlah karbon serta komposisi kimia lainnya.. Perhitungan hardenabiliti berdasarkan komposisi kimia ini didasarkan pada asumsi bahwa kekerasan baja setelah dikeraskan dikendalikan oleh kadar karbon dan unsur paduan dan ukuran butir austenit mempengaruhi kecepatan reaksinya, serta pengaruhnya satu sama lain. Gambar 2.14 menunjukkan hubungan antara kadar karbon dengan kekerasan. (Totten,2006)



Gambar 2.14 Hubungan antara kadar karbon dengan kekerasan



Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kekerasan awal namun persamaan ini sangat terbatas karena tidak dipengaruhi oleh komposisi kimia lain hanya kadar karbon yang terkandung dalam material dan harus kurang dari 0.6 % C , persamaannya :

$$J_o = 60 \times \sqrt{C} + 20 \text{ HRC } (C < 0,6 \%) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

J : Jominy Hardness (HRC)

C : Persen karbon

Untuk material *hammer crusher* yaitu baja AISI 1035 didapatkan kekerasan dengan menggunakan persamaan diatas sebesar 54.46 HRC dengan kadar karbon sebesar 0.33 %C .

2.11 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi merupakan suatu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui komposisi yang ada pada material atau senyawa – senyawa apa saja yang terkandung dalam material tersebut. Tujuan dilakukan pengujian komposisi adalah untuk mengetahui sifat – sifat dari material yang di uji apakah sifat nya baik atau malah tidak baik. Pengujian ini menggunakan alat *spectrometer* yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

Prinsip dasar dari diketahuinnya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



konsentrasi unsur. Hal ini menjelaskan bahwa suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010)

2.12 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material. Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indenter*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Knoop*.

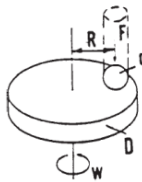
2.12.1 Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan (*DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.



2.13 Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 mengenai metode pengujian standar untuk keausan dengan peralatan metode *pin on disc*. Pengujian ini mencakup prosedur laboratorium untuk menentukan dan memprediksi keausan suatu material akibat gesekan. Skema pengujian dapat lebih jelas dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.15 Skema pengujian ketahanan aus dengan metode *pin on disc* (ASTM G99, 2003)

Gambar 2. 15 Menunjukkan gambar skema pengujian dari ketahanan aus menggunakan metode *pin on disc*. Ada beberapa ketentuan yang biasa digunakan pada system *pin on disc*, antara lain terdiri dari poros yang bergerak dan penjepit untuk menahan *disc* yang berputar, tuas untuk menahan pin dan alat tambahan untuk menempatkan beban yang di berikan pada pin.

Pengujian ini dapat diaplikasikan pada beberapa jenis material, salah satu ketentuannya yaitu dimensi material tertentu dan dapat menahan tekanan yang diberikan selama pengujian tanpa mengalami kegagalan. Bentuk pin secara khusus berbentuk silinder atau bola, dengan diameter antara 2 – 10 mm dan ukuran disc antara 30 – 100 mm, serta memiliki ketebalan 2 – 10 mm.

Ada beberapa parameter dalam pengujian ini. Yang pertama adalah *load* atau nilai dari gaya yang diberikan pada pin terhadap *disc* dalam satuan Newton. *Speed*, yaitu kecepatan pergeseran dari permukaan dari *pin* dan *disc* yang bersentuhan dalam meter per detik. *Distance*, merupakan jarak yang di tempuh selama pengujian berlangsung dalam meter. *Temperature*, yang spesifik pada lokasi dekat persentuhan antara *pin* dengan *disc*. Dan lingkungan yang dapat mempengaruhi pengujian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Dalam melakukan pengujian, ada beberapa prosedur yang harus dilakukan. Pertama, mempersiapkan spesimen yang bersih dari pengotor yang terdapat pada permukaan. Setelah itu, melakukan pengukuran dimensi material yang akan di uji dan menimbang berat material tersebut. Selanjutnya memasukkan *disc* ke *holding device* dan *pin* ke holder. Lalu memberikan beban yang sesuai dan menetapkan rpm yang dibutuhkan untuk pengujian. Setelah itu pengujian ketahanan aus dapat dilakukan.

Setelah melakukan pengujian, dilakukan perhitungan untuk menetapkan volume loss dalam mm³ ataupun reduksi ketebalan material uji tersebut. Persamaan untuk melakukan perhitungan dapat dilihat di bawah.

$$\text{Berat keausan} = \text{Berat awal} - \text{berat akhir} \dots(1)$$

$$\text{Vol. keausan} = \frac{\text{Berat keausan}(\text{gram})}{\text{Berat jenis}\left(\frac{\text{gram}}{\text{mm}^3}\right)} \dots(2)$$

$$\text{Faktor keausan} = \frac{\text{volume keausan}(\text{mm}^3)}{\text{Beban}(N) \times \text{jarak tempuh}(m)} \dots\dots (3)$$

(ASTM G99, 2003)

2.14 Penelitian Sebelumnya

2.14.1 Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik *Friction Wedge* AISI 1340

Baja AISI 1340 termasuk baja paduan rendah dengan komposisi karbon 0.38-0.43% dan Mangan 1,78%. Baja ini digunakan untuk komponen kereta api *Friction Wedge* yang



memiliki standar kekerasan minimal 300 BHN. Untuk menambah kekerasan, salah satu cara yang digunakan adalah *heat treatment*. Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah media pendingin air, oli SAE 20W, PVA 20% dan pendinginan udara pada temperatur austenitisasi 840C dan waktu tahan 20 menit. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Struktur yang terlihat pada specimen tidak diberi perlakuan adalah ferrit dan perlit. Lubang hitam yang cukup banyak adalah void atau pengotor yang merupakan bawaan baja cor. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Spesimen B menunjukkan struktur martensit yang berbentuk jarum-jarum pendek. Martensit adalah struktur yang terbentuk karena proses pendinginan non-ekuilibrium yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya. Fasa yang terbentuk adalah martensit yang hampir penuh, ini menunjukkan bahwa martensit yang terbentuk hampir maksimum dalam strukturnya. Bisa dipastikan baja ini sangat keras, namun getas (Bayu Adie Septianto, 2013). spesimen dengan pendinginan air hampir sama dengan gambar struktur mikro as - quench namun apabila dilihat dari perbesaran 1000x dibawah mikroskop optik, perbedaan ada pada bentuk martensitnya, dimana bentuknya lebih memanjang. Bila kadar karbon dalam austenit lebih tinggi maka struktur martensit akan lebih memanjang, juga menjadi lebih tegang, keras dan getas. Namun, struktur yang terbentuk pada permukaan spesimen *quench* air ini tidak sepenuhnya martensit tetapi ada juga austenit sisa dalam struktur tersebut yang berwarna terang, sedangkan martensit berwarna gelap. Spesimen D menunjukkan hasil struktur mikro hasil heat treatment dengan metode *quench* oli pada daerah *surface*. Berbeda dengan *quench* air, pada struktur mikro *quench* oli ini strukturnya berupa martensit yang lebih halus dan lebih banyak austenit sisa yang terbentuk.

Spesimen E merupakan struktur mikro baja yang telah mengalami *heat treatment* dengan pendinginan celup larutan polimer, terlihat sekilas struktur yang terbentuk merupakan campuran dari martensit dan bainit. Bentuk bainit berupa

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



jarumjarum *acicular* yang tidak sejajar satu sama lain dan berwarna gelap. Struktur ini disebut *accicular bainite* atau bainit bawah. Dalam struktur mikro hasil *quenching polymer* ini juga terdapat sedikit martensit yang terbentuk. (Bayu Adie Septianto, 2013).

Pendinginan dengan udara atau biasa disebut normalizing tidak terbentuk martensit, strukturnya pada permukaan berupa perlit dengan matriks ferrit. Struktur perlit merupakan campuran dari ferrit dan sementit yang berlapis-lapis. Pada perbesaran 1000x dibawah mikroskop optik, butiran yang terbentuk berupa perlit yang halus atau biasa disebut *fine pearlite*. Perlit berwarna hitam sedangkan matriksnya, ferrit berwarna terang. Batas butir nampak jelas pada struktur mikro hasil pendinginan udara dengan etsa nital 2%, hal yang tidak dijumpai pada struktur mikro hasil pendinginan celup air, oli atau larutan polimer. (Bayu Adie Septianto, 2013).

2.14.2 Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Sifat Kekerasan Baja Paduan Rendah untuk Bahan Pisau Penyayat Batang Karet

Penelitian ini didasarkan adanya keluhan dari petani penyadap karet yang mengeluhkan pisau penyadapnya sering aus, rompal dan retak. Sehingga peneliti mencoba mencari jalan keluarnya dengan membuat pisau baru dari bahan pegas daun mobil (Per bekas). Spesimen dalam penelitian ini ialah pisau penyayat yang di potong bagian pisaunya, jumlah spesimen adalah 7 buah, salah satunya benda yang telah di pakai, 1 buah dari pandai besi dan 5 buah dibuat sendiri diberi perlakuan panas dengan temperatur bervariasi dari 810 °C, 820 °C, 830 °C, 840 °C dan 850 °C. pakai lebih keras dari benda penempa, dapat kita lihat dari struktur yang terbentuk pada benda yang suda di pakai martensit dan benda dari tempa bainit dan juga keduanya terbentuk setruktur pearlite. Dimana martensit adalah fasa tersebut merupakan larutan padat dari karbon yang sifatnya sangat keras, sedangkan bainit merupakan fasa yang kurang setabil yang di peroleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari temperatur



transformasi ke martensit, dan dimana pearlite adalah gabungan dari ferrite dan sementite, semakin banyak sementit yang ada, baja akan semakin keras karena karbida yang terkeras di dalam baja adalah sementite (Fe_3C). Jika kita perhatikan hasil pengujian kekerasan baja yang telah mengalami pemanasan dan didinginkan di dalam air, dapat di lihat pada table 3 menunjukkan data kecendrungan semakin tinggi temperatur pemanasan semakin keras baja tersebut. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan, austenit yang terbentuk semakin banyak dan dengan waktu penahanan yang cukup pada temperatur tersebut, austenit semakin homogen. Austenit inilah yang memungkinkan dapat bertransformasi menjadi martensite pada saat dilakukan pendinginan cepat. Akibat dari pendingin yang sangat cepat maka struktur yang terbentuk adalah martensit , ini pulalah yang membuat baja semakin keras karena struktur martensit adalah struktur yang paling keras di dalam baja, sayangnya struktur ini diikuti oleh sifat yang tidak baik yaitu sifat yang getas dan sangat rentan terhadap beban selanjutnya. Jika kita lihat hasil pengujian kekerasan akibat didinginkan dalam air. Sehingga laju pendinginan air lebih cepat, karbon yang terjebak dari struktur austenit (FCC) menjadi martensit (BCT) lebih banyak dan austenite sisa pada temperatur kamar yang tidak sempat bertransformasi menjadi martensit lebih sedikit. hal inilah yang menyebabkan kekerasan dengan pendingin menggunakan air . Dengan metode pendinginan ini, bila kita bandingkan dengan benda uji tanpa perlakuan, keduanya mempunyai nilai kekerasan jauh lebih tinggi, artinya baja yang telah terbakar akan menaikkan nilai kekerasan, menaikkan kekuatan tetapi material menjadi sangat getas. Disarankan agar menggunakan menggunakan temperatur antara 810°C dan 820°C . Agar material yang di peroleh adalah material yang ulet dan keras sehingga mata pisau tidak muda patah dan tumpul.(Fatoni, 2016)

2.14.3 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* dan menganalisis pengaruh proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin sebagai solusi kegagalan. Material *hammer crusher* yang digunakan mengalami keausan yang tidak wajar, padahal umur pakainya selama 2 tahun namun hanya mampu bertahan selama 8 bulan. Material *hammer crusher* mengalami pengurangan dimensi, yang panjang awalnya sebesar 310 mm menjadi 247 mm. Karena itu dilakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan, dan perlakuan apa yang cocok untuk meningkatkan ketahanan aus.

Uji komposisi dengan OES menunjukkan bahwa material *hammer crusher* yang digunakan merupakan baja AISI 8655. Berdasarkan pengujian kekerasan dengan metode *Brinnel*, didapati bahwa pada daerah yang jauh dari gigi diperoleh nilai sebesar 243 BHN, dan pada daerah gigi sebesar 276 BHN. Pada pengujian impak didapatkan energi *impact* sebesar 2.6 joule. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan perlakuan panas dan struktur awal dimana material mengalami keausan. Pengamatan struktur mikro menunjukkan fasa perlit dan ferit.

Hasil analisis kegagalan menunjukkan bahwa spesifikasi material pada komponen *hammer crusher* tidak sesuai dengan standar ASTM A532. Pada penelitian ini dilakukan upaya *hardening* untuk memperbaiki sifat kekerasan dari komponen tersebut agar mendekati standar yang seharusnya. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 dan 60 menit menggunakan media pendingin udara, oli, dan air. Setelah dikeraskan, fasa yang terdapat pada material *hammer crusher* adalah *acicular bainite* (bainit bilah) yang lebih banyak dan *lath martensite*. Struktur mikro yang terbentuk pada perlakuan *holding time* selama 30 menit dengan pendinginan udara adalah *lath martensite* bentuk jarum yang pendek – pendek, dengan nilai kekerasan sebesar 520 HBN dan energi *impact* sebesar 2.5 joule. Sedangkan pada spesimen dengan *holding time* 30 menit dan



pendinginan oli, fasa yang terbentuk yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit, dan *lath martensite* yang bentuknya lebih panjang dan *continous*, dan nilai kekerasan sebesar 540 HBN dan energi *impact* sebesar 2.1 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding time* 30 menit dan pendinginan air, struktur mikronya menunjukkan *acicular bainite* dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah, dan nilai kekerasan sebesar 552 HBN dan energi *impact* sebesar 2 joule. Pada material dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan udara, fasa yang terbentuk adalah *acicular bainite* yang banyak dan *lath martensite* dengan nilai kekerasan 491 HBN dan energi *impact* sebesar 7.5 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan oli, fasa yang terbentuk yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit dan *lath martensite* yang lebih panjang dan terlihat *continous*, dengan nilai kekerasan 518 HBN dan energi *impact* sebesar 3.8 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan air fasa yang terbentuk adalah *acicular bainite* yang sangat sedikit, serta *lath martensite* yang lebih tegang dan *continous*, dan nilai kekerasan sebesar 548 HBN dan energi *impact* sebesar 2.8 joule.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan material standar *hammer crusher*. (Brooks, 2002) Material standar untuk *hammer crusher* seharusnya memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* yang mempunyai sifat ketahanan aus yang tinggi serta kekerasan yang tinggi pula yang sesuai dengan ASTM A532. Dari segi fasa yang terbentuk pada material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk sangat jauh berbeda dari fasa yang seharusnya terbentuk pada material standar *hammer crusher*.

Setelah diberi perlakuan panas dan di *quench* dengan media pendingin yang berbeda-beda, diperoleh struktur mikro berupa fasa *acicular bainite* dan *lath martensite*, dengan bentuk

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



yang berbeda – beda Hal ini terjadi karena perbedaan pada media pendingin pada tiap-tiap spesimen uji (Septianto, 2013). *Acicular bainite* yang merupakan agregat dari ferrit dan sementit (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa austenit (Aisyah, 2011). Sedangkan *lath martensite* (martensit bilah) terbentuk pada material dengan kadar karbon sampai 0.6%. *Quenching* dengan menggunakan media pendingin air dapat membentuk fasa *lath martensite* yang terlihat lebih tegang serta panjang – panjang atau *continous* (Yogantoro, 2010). Dari segi kekerasannya, setelah dilakukan proses *hardening* nilai kekerasan pada material uji masuk dalam *range* nilai kekerasan pada material standar *hammer crusher* menurut ASTM A532. Hal ini terjadi karena pendinginan non-ekuilibrium atau pendinginan sangat cepat dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu material dan kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan air sebagai media pendinginnya. (Septianto, 2013). Pengaruh waktu tahan saat proses *hardening* juga dapat mempengaruhi kekerasan pada suatu material karena semakin lama waktu tahannya maka homogenitas yang terjadi pada fasa austenit menjadi lebih baik dan juga menyebabkan difusi karbon sehingga kekerasannya dapat turun jika waktu tahannya terlalu lama.



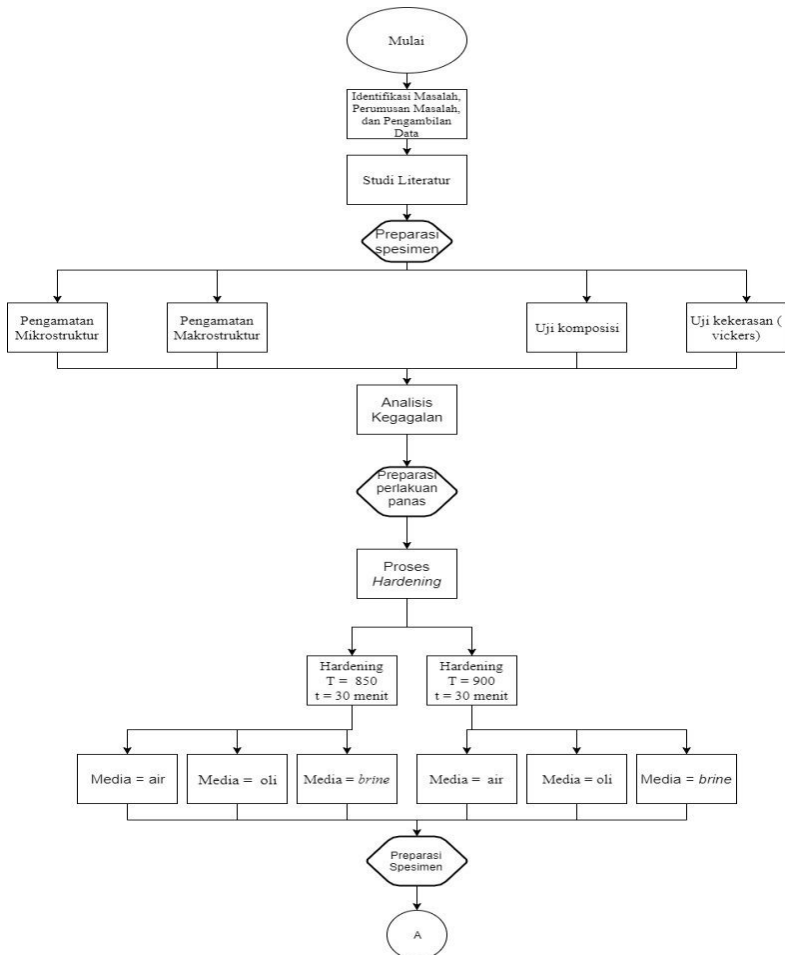
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

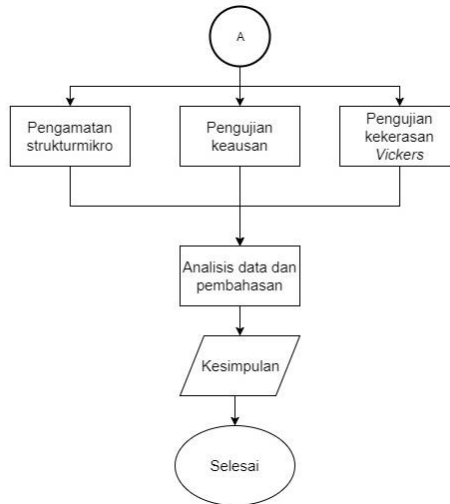


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain studi literatur, studi lapangan dan pengujian. Adapun hal – hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi Lapangan

Metode jenis ini mengacu pada pencarian informasi mengenai komponen yang akan di teliti beserta informasi dan data – data tentang kegagalan yang terjadi pada komponen dengan cara melakukan observasi ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen pembimbing serta pihak PT. Semen Indonesia yang ahli di bidang tersebut.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku – buku, jurnal – jurnal penelitian, dan situs/laman industri yang mempelajari tentang permasalahan analisis kegagalan khususnya keausan pada *hammer crusher* di mesin *impact crusher*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Pengujian yang dilakukan dalam eksperimen ini antara lain : melihat *record* dari *hammer crusher* yang ada pada PT. Semen Indonesia, pengamatan makro dengan menggunakan kamera, uji komposisi dengan menggunakan spectrometer, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *hammer crusher* serta uji ketahanan aus pada material *hammer Crusher*.

3.3 Material yang di Gunakan

1. Material

Pada tanggal 13 Juni 2016 ditemukan *hammer crusher* pada impact crusher pabrik tuban 1 mengalami keausan yang di perlihatkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 *Hammer Crusher*

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia merupakan material *Hammer crusher* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.



Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Hammer Crusher* di Mesin *Impact Crusher*

| Grade | Chemical Composition(%) | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------|----------|----------|---------|
| | C | Si | Mn | P | S | Mo |
| Material Hammer Crusher | 0.33 | 0.34 | 0.7 | 0.0075 | 0.0017 | 0.5 |
| Baja AISI 1035 | 0.31-0.38 | 0.3-0.5 | 0.6 - 0.9 | 0.04 max | 0.05 max | 0-0.55 |
| ASTM A 532 | 2.0-3.3 | 1.5 max | 2.0 max | 0.1 max | 0.06 max | 3.0 max |

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Penggaris

Digunakan untuk mengukur spesimen.

2. Mesin *Wire Cut*

Digunakan untuk memotong spesimen.



Gambar 3. 3 Mesin *Wire Cut*

3. Kamera Digital

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.

4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.4 Mesin *OES*

5. Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.

Alat Ditunjukkan pada gambar 3.9

6. *Furnace*

Menggunakan *dielectric heating furnace* untuk melakukan perlakuan panas.



Gambar 3.5 *Electric heating furnace*



7. Amplas SiC grade 80 hingga 2000

Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.

8. Mesin Polish

Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.



Gambar 3. 6 Mesin Polish

9. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji.



Gambar 3.7 Mikroskop Optik



10. Larutan Etsa 74a

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. 74a terdiri dari 1-5 mL HNO₃ + 100 mL *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%).

11. Mesin Uji Ketahanan Aus



Gambar 3.8 Mesin uji Ketahanan Aus

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data - data perusahaan yang berkaitan dengan *hammer crusher* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *Hammer Crusher*
2. Data operasi
3. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab keausan *hammer crusher* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting*, identifikasi OES material dan uji kekerasan. Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung *hammer crusher* yang terindikasi adanya beban berulang/kejut yang menyebabkan material tersebut menjadi aus.



3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium DT NDT Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Hammer Crusher* di mesin *Impact crusher* tersebut.

3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera digital dan mikro menggunakan mikroskop optik.

3.5.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Vickers* dimana dalam pengujiannya memakai indenter intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS., Alat pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.9 Universal Hardness Tester HBRV 187.5 A

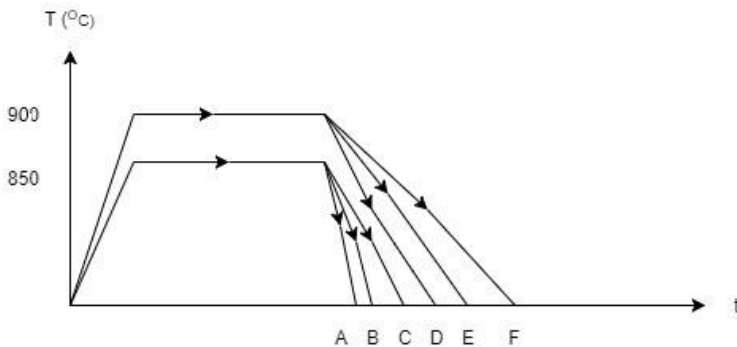
Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, sampel yang telah di uji harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.

3.5.6 Uji Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus (*wearability*) dari spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *pin on disc*, dimana dalam pengujiannya spesimen uji yang diberi beban seberat 1 kg diletakkan pada piringan disc yang berputar. Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 dengan metode *pin on disc*.

3.5.7 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas dilakukan dengan variasi temperatur austenisasi dan media pendingin. Sampel dipanaskan dengan dua temperatur yang berbeda yaitu 900°C dan 850°C. Sampel di tahan selama 30 menit di dalam furnace dengan temperatur yang konstan. Setelah itu di dinginkan dengan media pendinginan yang berbeda yaitu air, oli dan *brine*.



Gambar 3.10 Proses perlakuan panas

3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

| Mate rial | Tempe ratur | Medi a pendi ngin | Pengu jian komp osisi | Pengu jian keker asan | Pengu jian abrasi | uji metalo grafi |
|--------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| A | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| B | 850 | Oli | - | ✓ | ✓ | ✓ |
| C | 850 | Air | - | ✓ | ✓ | ✓ |
| D | 850 | Brine | - | ✓ | ✓ | ✓ |
| E | 900 | Oli | - | ✓ | ✓ | ✓ |
| F | 900 | Air | - | ✓ | ✓ | ✓ |
| G | 900 | Brine | - | ✓ | ✓ | ✓ |



BAB IV

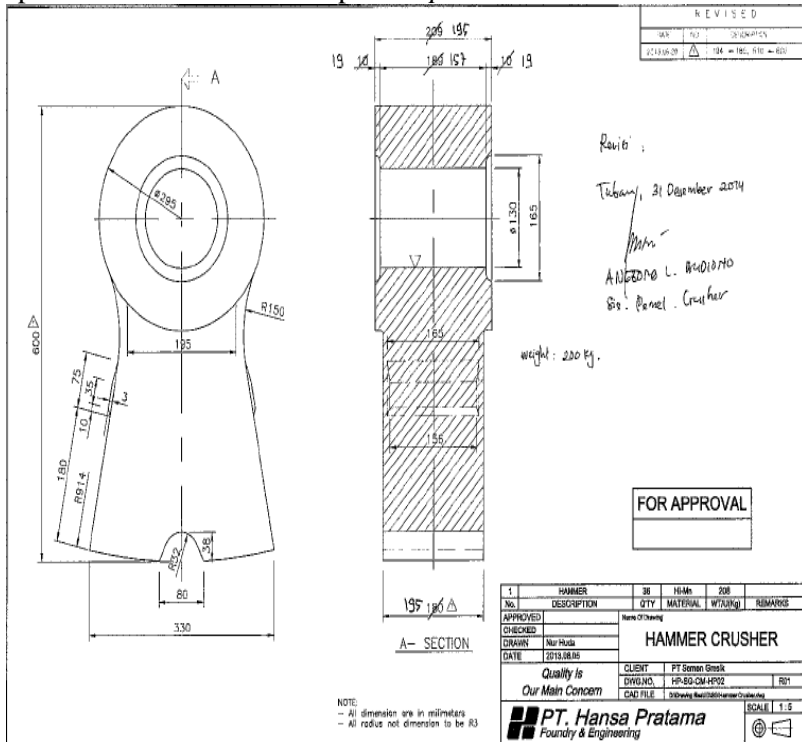
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

4.1.1 Data Operasi Material *Hammer Crusher*

Pada bulan juni 2016 PT. Semen Indonesia Tuban sedang melaksanakan *maintenance* rutin yang berlangsung selama 2 minggu. Namun, Pada mesin *impact crusher* ditemukan sebuah keausan pada *hammer crusher*. *Hammer crusher* ini menggunakan material baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.3 %.

Berikut ini data – data dari *hammer crusher* mencakup spesifikasi *hammer crusher* pada *impact crusher*.



Gambar 4.1 Desain *Hammer Crusher* di PT. Semen Indonesia






Tabel 4.1 Data Operasi *Hammer Crusher*

| | |
|----------------------------|-------------------|
| Temperatur Operasi | 27-30°C |
| Kecepatan Rotasi | 600 rpm |
| Kapasitas | 1600 ton/h |
| <i>Running Time</i> | 20h/day |
| <i>Life Time</i> | 1 year |


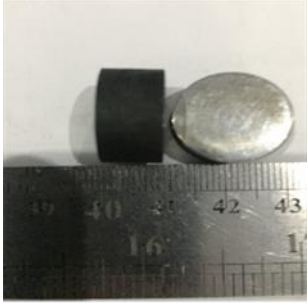

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia yang ditunjukkan pada tabel 3.1 ditemukan adanya perbedaan komposisi *hammer crusher* dengan komposisi standar. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kekerasan material *hammer crusher*, agar memenuhi standar yang telah ditetapkan. Jenis perlakuan yang diterapkan pada material *hammer crusher* dapat dilihat pada tabel 4.2



Tabel 4.2 Kode Spesimen dan Jenis Hardening pada AISI 1035


| Huruf | Kode Spesimen | Gambar Spesimen Uji | Jenis Hardening |
|-------|----------------------------|--|--|
| A | AISI 1035 |  | <i>Material Hammer Crusher</i> |
| B | AISI 1035 850°C - OQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 850°C + oil quench |
| C | AISI 1035 850°C - WQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 850°C + water quench |



| | | | |
|---|----------------------------|--|---|
| D | AISI 1035 850°C - BQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 850°C + <i>brine</i> quench |
| E | AISI 1035 900°C - OQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 900°C + oil quench |
| F | AISI 1035 900°C - WQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 900°C + water quench |

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



| | | | |
|--|----------------------------|---|---|
| | AISI 1035 900°C - BQ |  | AISI 1035 dengan temperatur pemanasan 900°C + <i>brine</i> quench |
|--|----------------------------|---|---|

4.1.2 Hasil Pengamatan Makrostruktur *Hammer Crusher*

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan bantuan kamera DSLR pada daerah komponen *hammer crusher* yang mengalami keausan terlihat pada gambar 4.2 terlihat adanya keausan pada material *hammer crusher* serta terlihat pengurangan dimensi dari *hammer crusher*.

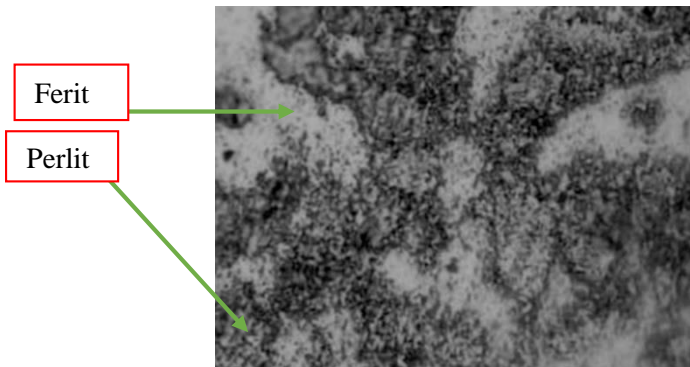


Gambar 4.2 Komponen *Hammer Crusher*



4.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro pada *Hammer Crusher*

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro awal yang terbentuk pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan perlakuan panas. Pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x. struktur mikro pada baja AISI 1035 yang terlihat pada gambar 4.3 ini merupakan struktur awal material *hammer crusher*.



Gambar 4.3 Struktur mikro baja AISI 1035

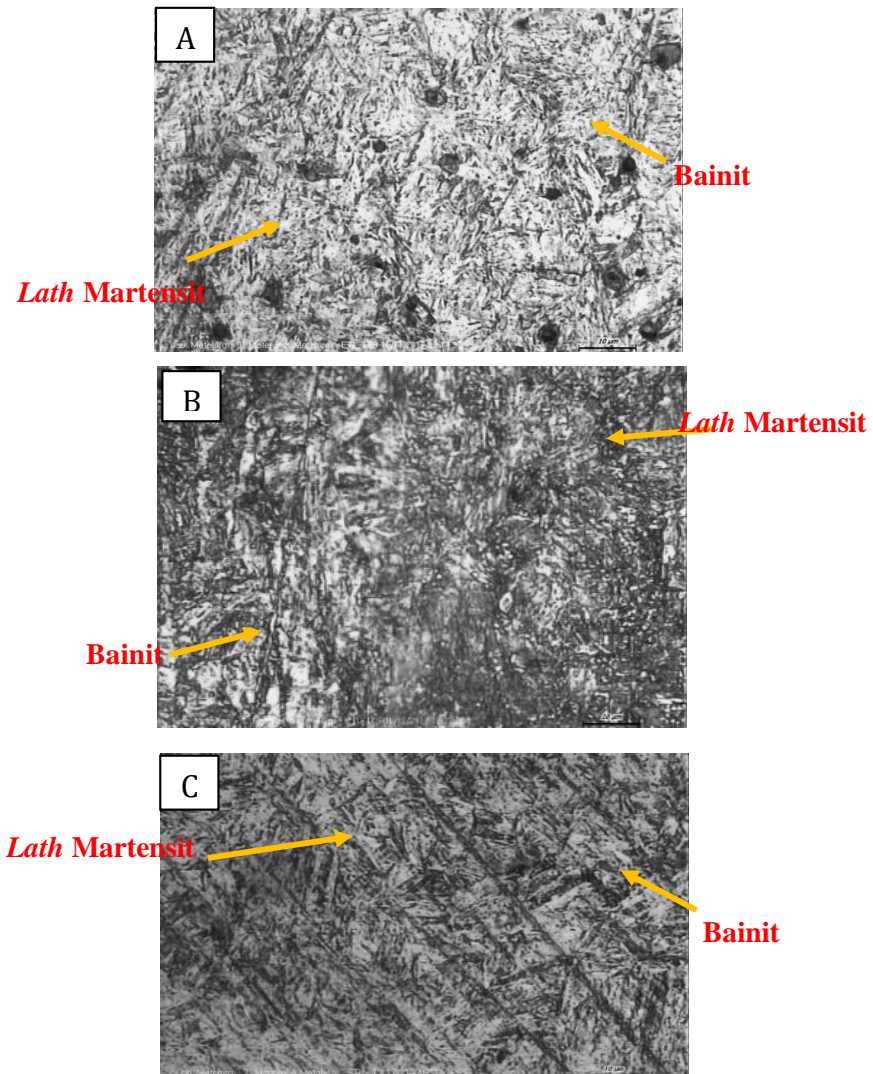
Gambar 4.3 menunjukkan struktur mikro pada material *hammer crusher* berupa ferit dan perlit. Ferit berwarna putih atau lebih terang dibandingkan oleh perlit yang warna nya lebih hitam daripada ferit.

Setelah dilakukan *heat treatment*, pengujian struktur mikro kembali dilakukan untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk setelah dilakukan *heat treatment* dengan variasi media pendingin dan temperatur pemanasan. Pengamatan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x.

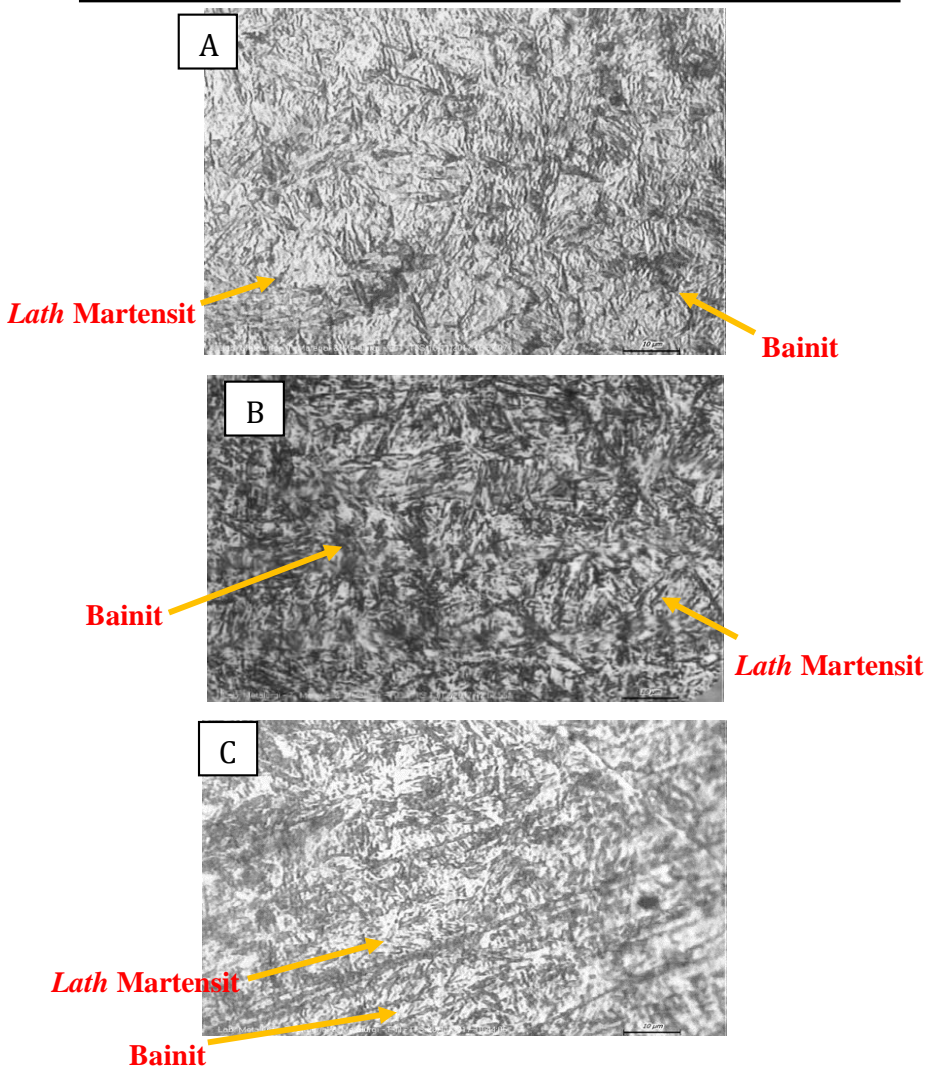
Gambar 4.4 menunjukkan struktur mikro berupa hasil dari proses *hardening* baja AISI 1035 dari material *hammer crusher*. Gambar 4.4 (A) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 850°C material AISI 1035 850°C – OQ. Material ini adalah material yang mengalami



pemanasan pada temperatur 850°C dengan media pendingin oli. Fasa yang terbentuk adalah bainit 51% dan 49 % *lath* martensit. Gambar 4.4 (B) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 850°C material AISI 1035 850°C – WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C dengan media pendingin air. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensit* 62% dan bainit yang lebih sedikit sebesar 38%. Gambar 4.4 (C) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 850°C material AISI 1035 850°C – BQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C dengan media pendingin *brine*. Fasa yang terbentuk adalah 79% *lath martensit* dan hanya sedikit bainit yaitu 21%.



Gambar 4.4 Struktur Mikro (A) AISI 1035 850°C – OQ (B) AISI 1035 850°C – WQ (C) AISI 1035 850°C – BQ dengan etsa Nital 74a. Perbesaran 1000x



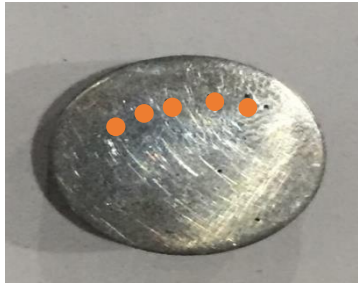
Gambar 4.5 Struktur Mikro (D) AISI 1035 900°C – OQ (E) AISI 1035 900°C – WQ (F) AISI 1035 900°C – BQ dengan etsa Nital 74a. Perbesaran 1000x



Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro hasil dari proses *hardening* baja AISI 1035 dari material *hammer crusher* pada temperature 900°C. Gambar 4.5 (A) Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro berupa hasil dari proses *hardening* baja AISI 1035 dari material *hammer crusher*. Gambar 4.5 (A) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 900°C material AISI 1035 900°C – OQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 900°C dengan media pendingin oli. Fasa yang terbentuk adalah bainit sekitar 53% dan lath martensit 47 %. Gambar 4.5 (B) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 900°C material AISI 1035 900°C – WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 900°C dengan media pendingin air. Fasa yang terbentuk adalah *lath* martensit 64% dan bainit 36% yang lebih sedikit . Gambar 4.5 (C) Menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur pemanasan 900°C material AISI 1035 900°C – BQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 900°C dengan media pendingin berupa *brine* .Fasa yang terbentuk adalah *lath* martensit 78% dan sangat sedikit bainit 28%

4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers pada Hammer Crusher

Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *hammer crusher* yang mengalami keausan dan *Hardening*. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, dengan menggunakan beban sebesar 100 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada gambar 4.6

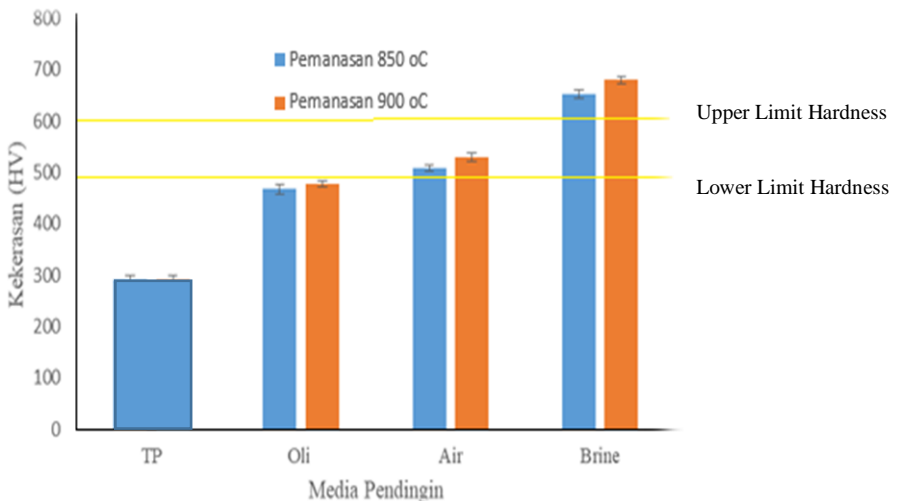


Gambar 4.6 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen uji

| Nama Spesimen | Kekerasan (HV) |
|----------------------|----------------|
| AISI 1035 | 292 ± 7 |
| AISI 1035 850°C - BQ | 652.8 ± 8 |
| AISI 1035 850°C – OQ | 467 ± 10 |
| AISI 1035 850°C – WQ | 508 ± 5 |
| AISI 1035 900°C – BQ | 679.4 ± 6 |
| AISI 1035 900°C - OQ | 477.6 ± 5 |
| AISI 1035 900°C - WQ | 529.4 ± 8 |

Tabel 4.3 merupakan grafik nilai kekerasan baja AISI 1035 dengan temperatur pemanasan dan media pendingin yang berbeda. Kekerasan paling tinggi didapatkan pada material dengan pemanasan temperatur 900°C dengan media pendingin *brine* sebesar 679.4 HV dan paling rendah adalah media pendingin oli dengan temperatur 850°C sebesar 467 HV. Nilai kekerasan dapat dibandingkan dengan melihat gambar 4.7 yaitu grafik nilai kekerasan.



Gambar 4. 7 Grafik nilai kekerasan baja AISI 1035

4.1.5 Hasil Pengujian Ketahanan Aus pada Material *Hammer Crusher*

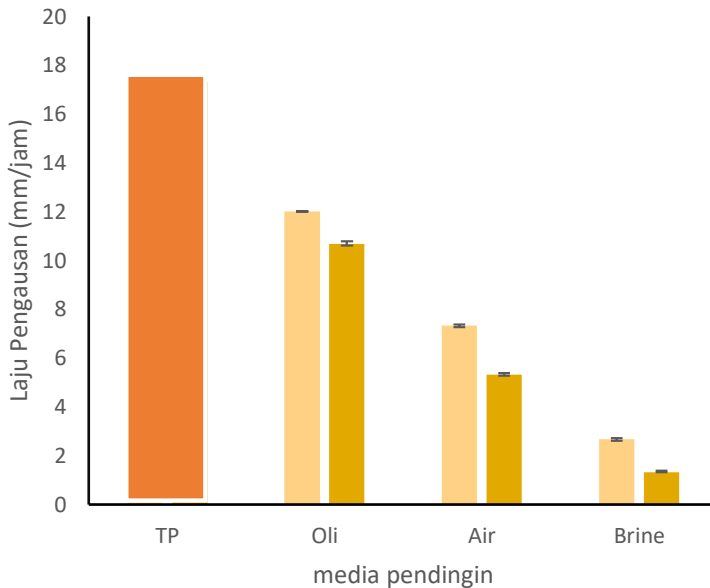
Pengujian ketahanan aus dilakukan pada permukaan spesimen material *hammer crusher* pada setiap variasi media pendingin dan 2 temperatur yang berbeda. Data yang diperoleh berupa selisih ketebalan antara material *hammer crusher* sebelum dan setelah dilakukan pengujian. Laju pengausan dibuat dalam milimeter per jam. Data hasil pengujian ketahanan aus disajikan pada tabel 4.3.



Tabel 4.4 Rata-rata hasil pengujian ketahanan aus pada material
hammer crusher

| Nama Spesimen | Laju Keausan (mm/hour) |
|----------------------|---------------------------|
| AISI 1035 | 17.33±0 |
| AISI 1035 850°C - BQ | 2.66±0.05 |
| AISI 1035 850°C - OQ | 12±0.05 |
| AISI 1035 850°C - WQ | 7.33±0.05 |
| AISI 1035 900°C - BQ | 1.33±0.06 |
| AISI 1035 900°C - OQ | 10.66±0.1 |
| AISI 1035 900°C - WQ | 5.33±0.01 |

Pada tabel 4.4 Menunjukkan laju keausan pada material *hammer crusher* berkurang dengan meningkatnya temperatur *hardening* dan juga kekuatan media pendingin. Didapatkan laju keausan pada media pendingin oli lebih rendah bila dibandingkan dengan media pendingin air dan *brine*. Laju ketahanan aus pada material *hammer crusher* didapatkan yang tertinggi adalah material dengan temperatur *hardening* sebesar 850°C yang dicelupkan pada oli yaitu sebesar 12 mm/jam. Sedangkan laju ketahanan aus paling rendah terdapat pada material *hammer crusher* dengan dicelupkan pada media pendingin *brine* pada temperatur 900°C. Grafik ketahanan aus ditunjukkan pada gambar 4.8 yaitu perbandingan antara laju keausan dengan masing – masing material yang di variasikan media pendinginnya serta 2 temperatur yang berbeda dan ditampilkan juga material awal tanpa perlakuan.



Gambar 4. 8 Grafik laju pengausan Material AISI 1035

4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian selama penelitian berlangsung ada beberapa faktor penyebab keausan pada material *hammer crusher*, yaitu terdapat komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan standar dari material yang seharusnya digunakan.

Material standar yang digunakan *hammer crusher* seharusnya memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* yang memiliki sifat ketahanan aus yang tinggi dan kekerasan yang tinggi pula sesuai dengan standar ASTM A532. Sedangkan material *hammer crusher* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia Tuban



setelah di uji komposisi hasilnya tidak sesuai dengan komposisi pada ASTM A532. Jika dilihat dari segi komposisi yang berbeda seperti unsur C, Mo, Ni, Cr pada standar *hammer crusher* yang seharusnya memiliki sifat *hardenability* yang baik dan kadar karbon yang memiliki kekerasan yang tinggi dan kekerasan pada standar ASTM A 532 adalah antara range 485 – 600 HV. Sedangkan setelah di uji kekerasan material *hammer crusher* milik PT. Semen Indonesia hanya 292 HV yang sangat berbeda dari standar ASTM A532. Sehingga, material yang digunakan pada material *hammer crusher* milik PT. Semen Indonesia cepat diganti yang seharusnya di desain untuk *lifetime* selama 1 tahun hanya dapat bertahan selama 3 bulan. Hal ini jelas dikarenakan material yang digunakan tidak memenuhi standar kekerasan serta komposisi yang tidak sesuai dengan standar.

Hasil pengamatan secara makro, menunjukkan bahwa terjadinya pengurangan ketebalan pada bagian material *hammer crusher* yang disebabkan oleh gesekan antara material *hammer crusher* dengan raw material yaitu berupa batu kapur yang digunakan untuk mereduksi ukuran batu kapur tersebut. Hal ini dapat membuat permukaan material *hammer crusher* tersebut tergerus oleh batu kapur. Apabila material pada permukaan berkurang akibat kontak dengan material yang keras, maka akan terjadi *abrasive wear* (Ratia, 2015). Saat partikel tajam dan keras (kekerasan batu kapur sekitar 3,4 mohs) menggores permukaan material lain, akan menimbulkan goresan dan membuat alur yang semakin besar, dan bila penggoresan dilanjutkan material tersebut akan mengalami penipisan yang diakibatkan oleh kelelahan dari material tersebut. (Gagg, 2006)

Hasil dari pengujian struktur mikro dari material *hammer crusher* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia Tuban menunjukkan struktur awal yang terbentuk ketika spesimen belum diberi perlakuan menunjukkan fasa *ferrite* dan *pearlite* yang merupakan struktur dari baja hipoeutektoid (Avner, 1974). Ferit terlihat pada gambar yaitu dengan warna yang lebih terang sedangkan untuk struktur perlit di ketahui dengan warna struktur



yang lebih gelap di bandingkan ferit yang warna nya putih. Untuk meningkatkan kekerasan yang digunakan pada *hammer crusher* dilakukan *hardening*. Oleh karena itu, memungkinkan untuk memperoleh kekerasan yang lebih tinggi dengan austenisasi *quenching* untuk mendapatkan fase martensit (George krauss, 2005).

Setelah material *hammer crusher* diberi perlakuan panas dengan 2 temperatur austenisasi yang berbeda serta 3 variasi media pendingin yaitu oli, air, dan *brine*. Untuk spesimen yang menggunakan media pendingin oli terlihat lebih kehitaman, disebabkan karena oli adalah rantai karbon, sehingga ketika terkena panas pada temperature austenite, maka oli tersebut terdegradasi dan karbonnya itu menempel pada permukaan spesimen dan membuat spesimen berwarna kehitaman. Sedangkan spesimen yang menggunakan air dan air garam, warna nya terlihat lebih kemerahan karena adanya reaksi antara besi dengan oksigen yang terdapat di dalam air. Spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1. Setelah dilakukan *hardening*, diperoleh struktur mikro yang terbentuk setelah diberi perlakuan panas adalah *lath* martensit dan bainit. Selanjutnya material dengan nilai kekerasan yang tertinggi adalah spesimen AISI 1035 900°C – BQ. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *lath* martensit yang terlihat lebih tegang dan panjang – panjang membuat spesimen ini yang paling keras diantara yang lainnya. *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah (James, 2010). Martensit terbentuk apabila besi austenit didinginkan dengan sangat cepat ke temperatur rendah, sekitar temperatur kamar. Martensit merupakan fasa tunggal yang tidak stabil yang terjadi karena transformasi tanpa difusi dari austenit. Struktur FCC austenit akan berubah menjadi struktur BCT (body centered tetragonal) martensit pada transformasi ini. Karena transformasi martensit tidak melewati proses difusi, maka ia terjadi seketika sehingga laju transformasi martensit adalah tidak bergantung waktu (mizhar, 2011). *Lath* martensit terbentuk karena kandungan baja AISI 1035 yang hanya sebesar 0.3%. karakteristik utama dari

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



lath martensit adalah kecenderungannya membentuk struktur *lath* (bilah) yang terletak secara parallel satu sama lainnya (James, 2010). *bainite* yang merupakan agregat dari *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa *austenite* (Avner, 2011). *Bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011).

Dari segi kekerasannya setelah di beri perlakuan panas dengan 2 temperatur austenisasi yang berbeda serta 3 variasi media pendingin yaitu oli, air, dan *brine* diperoleh kekerasan baja AISI 1035 tanpa perlakuan dengan kekerasan sebesar 292 HV. Sedangkan untuk material yang paling keras diantara yang lainnya adalah spesimen AISI 1035 900°C – BQ dengan kekerasan sebesar 679.4 HV serta spesimen AISI 1035 850°C – BQ 652.8 sebesar 652.8 HV. Untuk spesimen AISI 1035 900°C – WQ didapatkan kekerasan sebesar 529.4 HV dan AISI 1035 850°C – WQ kekerasannya sebesar 508 HV. Lalu spesimen dengan media pendingin oli didapatkan kekerasan sebesar 477.6 HV untuk spesimen AISI 1035 900°C – OQ dan 467 HV untuk spesimen AISI 1035 850°C – OQ. Hal ini dipengaruhi oleh *severity of quench* dari atau koefisien kekuatan pendinginan, ditandai dengan, H. media pendingin *brine* tanpa adanya agitasi memiliki nilai koefisien sebesar 2 yang paling tinggi diantara kedua media pendingin lainnya yaitu air yang memiliki *severity of quench* sebesar 1 dan oli hanya 0.3, hal ini menyebabkan laju pendinginan dengan media pendingin *brine* menjadi lebih cepat (Avner, 1974). Temperatur pemanasan juga dapat mempengaruhi kekerasan. Kekerasan lebih tinggi juga ditunjukkan pada spesimen yang memiliki temperatur *hardening* yang lebih tinggi yaitu 900°C. ketika di *quench* pada temperatur yang lebih rendah ada lebih sedikit karbon yang terlarut dalam *austenite*. Karbon jenuh dan unsur paduan dalam *martensite* juga kurang. Hal ini yang menyebabkan kekerasan material



menjadi rendah pada temperatur *hardening* yang rendah. (Hanguang, 2009)

Hasil dari pengujian ketahanan aus, menunjukkan hasil yang linier dengan hasil pengujian kekerasan. Bahwa dengan peningkatan kekerasan akan meningkatkan sifat ketahanan aus dari material tersebut. Dengan spesimen AISI 1035 900°C – BQ dengan kekerasan sebesar 679.4 HV, memiliki laju pengausan sebesar 1.33 mm/jam. Seluruh hasil menunjukkan data yang linier antara pengujian kekerasan dengan pengujian ketahanan aus. Menurut Ratia, 2015, pada *abrasive wear*, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja dalam ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media *abrasive* untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut. Berhubungan dengan mikrostruktur yang mana bila baja tersebut memiliki ukuran butir yang semakin kecil akan memiliki ketahanan aus yang lebih baik.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari serangkaian percobaan yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai keausan *hammer crusher* pada *impact crusher* antara lain sebagai berikut :

1. Temperatur hardening yang paling optimal terdapat pada temperatur 900°C dengan fasa yang dihasilkan berupa *bainite* dan *lath martensite*. Dengan diikuti naiknya nilai kekerasan dan juga ketahanan aus dari material dengan nilai maksimum yang didapat pada temperatur 900°C adalah 679.4 HV dan ketahanan aus sebesar 1.33 mm/jam.
2. Media pendingin yang paling baik adalah dengan menggunakan *brine* karena menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus maksimum pada tiap temperatur hardening dengan nilai kekerasan pada temperatur 900°C sebesar 679.4 HV dan pada temperatur 850°C sebesar 652.8 HV

5.2 Saran

1. Melakukan pengujian perlakuan panas dengan variasi temperatur austenisasi yang lebih beragam.
2. Melakukan pengujian komposisi, kekerasan dan metalografi terlebih dahulu sebelum menggunakan *hammer crusher* yang dibeli.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1999. ASTM A532. *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International
- _____. 2005. *ASM Handbook Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 2017. *FLSmidth Cross Bar Cooler*. <URL: <http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Categories/Products/Pyroprocessing/FLSmidth+CrossBar+Cooler/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler>>
- Aisyah. 2011. *Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Limbah Radioaktif BATAN.
- Almen, J.O. 1950. *Mechanical Wear (ed J.T. Burwell)*, New York: American Society for Metals.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bayu Adie Septianto, dan Yuli Setiyorini. 2013. *Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Chandler, Harry. 1995. *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA: ASM International.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Edahwati, Luluk. 2009. *Alat Industri Kimia*. Surabaya: UPN Press.

- Fatoni. 2016. PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT KEKERASAN BAJA PADUAN RENDAH UNTUK BAHAN PISAU PENYAYAT BATANG KARET. Palembang : Universitas Palembang.
- Gagg, Colin R, Peter R. Lewis. 2007. *Wear as a Product Failure Mechanism – Overview and Case Studies*. Engineering Failure Analysis 14: 1618-1640.
- Gupta, Deepak. 2008. *DESIGN AND ANALYSIS OF A HORIZONTAL SHAFT IMPACT CRUSHER*. India : National Institute Of Technology Rourkela.
- Hanguang, Fu. 2009. *Effect of quenching temperature on structure and properties of centrifugal casting high speed steel roll*. Jurnal China Foundry
- Hokkirigawa, K. and Kato, K. 1989. *Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism*, New York: Wear of Materials (ed K.C. Ludema).
- Hussein, Chandra. 2012. Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Mikrostruktur Pada Baja Mangan Hadfield AISI 3401 Hammer Clinker Cooler.
- James. 2008. Microstructure and Properties Of Materials. World Scientific
- Murtiono, Arief. 2012. *Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*. Sumatera: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Nishida, Shin-ichi. 1992. *Failure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth- Heinemann.
- Ratia, V. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Tampere: Tampere University of Technology.
- Rina Dwi Yani, Tri Pratomo, Hendro Cahyono. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*.

- Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- Rochman Rochiem, Hariyati Purwaningsih, Edwin Setiawan. 2009. *Pengaruh Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 310 S*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Susri Mizhar dan Suherman. 2011. *Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140*. Medan: Teknik Mesin Politeknik Tanjung Balai.
- Stachowiak, G.W. 2005. *Wear–Materials, Mechanisms And Practice*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Warmick, Seco. 2011. *Heat Treating Data Book Tenth Edition*. USA: SECO/Warmick Corporation.
- Yogantoro, Anom. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zum Gahr, K.H. 1987. *Microstructure and Wear of Materials*. Amsterdam: Tribology Series.

Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. Hasil Analisis Komposisi Kimia OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

| | | | |
|-------------|------------------------|--------------------|--------------|
| Sample ID : | B | Material : | CARBON STEEL |
| Customer : | ZAHRA LUTHFIAH S / ITS | Dimension : | 20X20X20 mm |
| Lab-no. : | LAB. UJI BAHAN | Heat-no. : | - |
| Operator : | AGUS | Ka. Laboratorium : | M. THORIQ W. |
| Date : | 9/12/2017 | | |

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

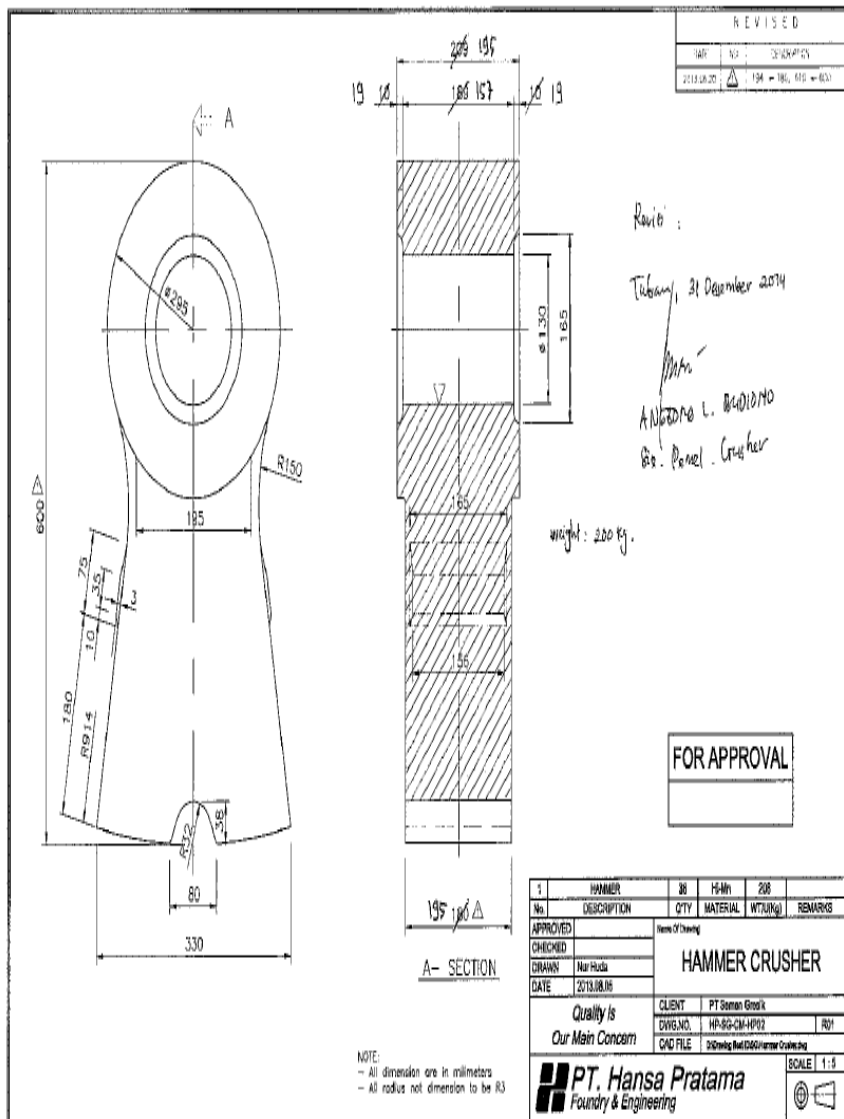
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|-----|------|-------|-------|-------|--------|--------|------|-------|
| 1 | 93.4 | 0.331 | 0.353 | 0.740 | 0.0056 | 0.0021 | 1.26 | 0.542 |
| 2 | 93.4 | 0.335 | 0.335 | 0.749 | 0.0095 | 0.0018 | 1.29 | 0.547 |
| 3 | 93.4 | 0.344 | 0.339 | 0.742 | 0.0075 | 0.0013 | 1.28 | 0.549 |
| Ave | 93.4 | 0.337 | 0.342 | 0.744 | 0.0075 | 0.0017 | 1.28 | 0.546 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|-----|------|--------|--------|-------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 2.92 | 0.0115 | 0.0347 | 0.137 | 0.0051 | < 0.0010 | 0.0672 | 0.0081 |
| 2 | 2.87 | 0.0116 | 0.0360 | 0.131 | 0.0022 | < 0.0010 | 0.0677 | 0.0031 |
| 3 | 2.85 | 0.0105 | 0.0339 | 0.141 | 0.0212 | < 0.0010 | 0.0697 | 0.0057 |
| Ave | 2.88 | 0.0112 | 0.0349 | 0.136 | 0.0095 | < 0.0010 | 0.0682 | 0.0057 |

| | Pb | Sn | B | Ca | Zr | Zn | Bi | As |
|-----|----------|--------|--------|----------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | < 0.0010 | 0.0072 | 0.0010 | < 0.0001 | 0.0059 | < 0.0001 | 0.0057 | 0.0067 |
| 2 | < 0.0010 | 0.0094 | 0.0012 | < 0.0001 | 0.0058 | 0.0009 | 0.0048 | 0.0049 |
| 3 | < 0.0010 | 0.0073 | 0.0012 | < 0.0001 | 0.0041 | 0.0014 | 0.0043 | 0.0068 |
| Ave | < 0.0010 | 0.0080 | 0.0011 | < 0.0001 | 0.0053 | 0.0008 | 0.0049 | 0.0061 |

| | N | Se | Sb | Ta |
|-----|--------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.0168 | 0.0088 | 0.0286 | 0.0042 |
| 2 | 0.0120 | 0.0081 | 0.0059 | 0.0145 |
| 3 | 0.0267 | 0.0101 | < 0.0010 | 0.0134 |
| Ave | 0.0185 | 0.0090 | 0.0115 | 0.0107 |

B. Gambar Teknik



C. Nilai Kekerasan Spesimen AISI 1035

| NO | TP | OLI 900 | OLI (850) | AIR 900 | AIR 850 | BRINE 900 | BRINE 850 |
|-----------|-----|---------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|
| 1 | 289 | 471 | 475 | 520 | 507 | 680 | 663 |
| 2 | 295 | 479 | 456 | 524 | 511 | 686 | 651 |
| 3 | 290 | 477 | 456 | 534 | 499 | 670 | 659 |
| 4 | 294 | 475 | 473 | 528 | 511 | 678 | 644 |
| 5 | 292 | 486 | 475 | 541 | 512 | 683 | 647 |
| RATA RATA | 292 | 477.6 | 467 | 529.4 | 508 | 679.4 | 652.8 |
| | | 49.6 | 48.5 | 53 | 51.5 | 61.5 | 60 |

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua dan adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto W, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
7. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
9. Bapak Anggoro selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

10. Teman – teman dari maba, Afiq, eja, ibe, dwiki, ogi, icod, rama, emral, adnan, ical, pandu, nur, argya yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.
11. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Analisa Kegagalan, Sasa, Redy, Adnan, Pandu, dan Argya yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
12. Teman – teman Founder NACE ITS dan teman seperVamosan, yang telah memotivasi untuk mengerjakan tugas akhir ini.
13. Teman – teman perantauan SMA 81, Dimas, brayen, zico, pay, faisal, dan lainnya yang membuat penulis bersemangat selama mengerjakan tugas akhir.
14. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
15. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Muhammad Rifki Lufthansa, Lahir di Yogyakarta pada tanggal 29 Maret 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 010 Pondok Kelapa. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 109 Jakarta. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 81 Jakarta. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan fakultas maupun institusi seperti ITS EXPO 2016. Penulis juga tercatat sebagai Kepala Departemen *Student Resource and Development* NACE SC-ITS 2016/2017 sekaligus membentuk organisasi ini bersama *founder* lainnya. Selain itu penulis juga pernah menjadi Staff BSO Minat Bakat HMMT FTI - ITS 2015/2016. Dalam kegiatan akademis penulis aktif sebagai Asisten laboratorium Kimia Material.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PETROCHINA JABUNG Ltd Jambi pada bulan Juli-Agustus 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul “Perbandingan Laju Korosi CO_2 pada *Flowline* Pipa dengan Simulasi *Software* Norsok M-506 dan *Actual Thickness Monitoring*”.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dala bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur pada Proses Pengerasan Baja AISI 1035 terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher*” di PT Semen Indonesia Tbk Tuban.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)